

# الطاقة ومصادرها المختلفة

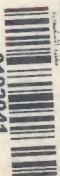
دكتور/ أحمد محمد إسلام



مركز الأهرام  
للترجمة والنشر



0192041



Bibliotheca Alexandria



# الطاقة

## ومصادرها المختلفة

دكتور أحمد مدحت اسلام

الطبعة الاولى

١٤٠٩ هـ - ١٩٨٨ م

جميع حقوق الطبع محفوظة

الناشر : مركز الاهرام للترجمة والنشر

مؤسسة الاهرام - شارع الجلاء - القاهرة

تليفون ٧٤٨٢٤٨ - تلكس ٩٢٠٠٢ يو إن

# المحتويات

| صفحة |                                           |
|------|-------------------------------------------|
| ٧    | مقدمة .....                               |
| ١٣   | مصادر الطاقة .....                        |
| ٢١   | الفحم .....                               |
| ٢٤   | منشأ الفحم .....                          |
| ٢٦   | أنواع الفحم .....                         |
| ٢٨   | تعددين الفحم .....                        |
| ٢٩   | التعددين السطحي .....                     |
| ٣٠   | التعددين الأرضي .....                     |
| ٣٢   | الاحطار التي يتعرض لها عمال التعدين ..... |
| ٣٦   | الوسائل الحديثة للتخلص من الأخطار .....   |
| ٣٨   | تجهيز الفحم للمستهلك .....                |
| ٣٩   | طرق نقل الفحم .....                       |
| ٤٣   | استخدامات الفحم .....                     |
| ٤٤   | فحم الكوك .....                           |
| ٤٧   | تحويل الفحم الى صور أخرى .....            |
| ٤٧   | الغاز المنتج .....                        |
| ٤٧   | غاز الماء .....                           |
| ٤٩   | تغويز الفحم في باطن الأرض .....           |
| ٥٠   | تحويل الفحم الى وقود سائل .....           |
| ٥٢   | الفحم مصدرا للكيمياويات .....             |
| ٥٦   | البترول .....                             |
| ٥٩   | اصل البترول وتركيبه .....                 |
| ٦٦   | وجود البترول .....                        |

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ٦٨  | استخراج زيت البترول من باطن الأرض .....             |
| ٦٩  | طرق حفر الآبار .....                                |
| ٧٢  | نقل البترول .....                                   |
| ٧٥  | تكرير البترول .....                                 |
| ٨١  | التكسير .....                                       |
| ٨٢  | عمليات الإصلاح .....                                |
| ٨٣  | الرقم الأوكتيني وخاصية الدق .....                   |
| ٨٥  | أنواع أخرى محسنة من الجازولين .....                 |
| ٨٦  | تنقية المقطرات .....                                |
| ٨٧  | أهم نواتج تقطير البترول .....                       |
| ٩١  | الكيميائيات من البترول .....                        |
| ٩٢  | توزيع منتجات البترول .....                          |
| ٩٣  | الانتاج العالمى للبترول .....                       |
| ٩٤  | استخراج الزيت المستعصى .....                        |
| ٩٨  | مصادر جديدة للبترول .....                           |
| ٩٩  | الطفل الزيتى .....                                  |
| ١٠١ | الرمال القارية .....                                |
| ١٠٥ | <b>الغاز الطبيعى</b> .....                          |
| ١٠٦ | وجود الغاز الطبيعى واستخداماته .....                |
| ١١١ | نقل الغاز الطبيعى .....                             |
| ١١٣ | طرق تخزين الغاز الطبيعى .....                       |
| ١١٧ | <b>الطاقة النووية</b> .....                         |
| ١١٨ | تركيب الذرة .....                                   |
| ١٢٢ | المفاعل النووى .....                                |
| ١٢٤ | الوقود النووى .....                                 |
| ١٢٧ | المواد المهدئة والمواد المبردة .....                |
| ١٣٠ | تخصيب وقود المفاعل .....                            |
| ١٣١ | مفاعلات توليد الوقود .....                          |
| ١٣٢ | استخدامات الطاقة النووية .....                      |
| ١٣٣ | استخدام الطاقة النووية فى جمهورية مصر العربية ..... |
| ١٣٨ | استخراج اليورانيوم .....                            |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ١٤١ | طاقة الاندماج النووي .....                                |
| ١٤٣ | طريقة الليزر .....                                        |
| ١٤٥ | طريقة المجال المغنطيسي .....                              |
| ١٤٩ | الاندماج النووي البارد .....                              |
| ١٥٤ | الموقف من الطاقة النووية اليوم .....                      |
| ١٥٧ | الطاقة الشمسية .....                                      |
| ١٥٩ | استخدام العاكس الشمسي .....                               |
| ١٦٠ | تجميع حرارة الشمس .....                                   |
| ١٦٢ | البطاريات الشمسية .....                                   |
| ١٧٠ | استخدام الطاقة الشمسية في الفضاء .....                    |
| ١٧٣ | انتاج الطاقة من مياه البحار والمحيطات .....               |
| ١٧٣ | انتاج الطاقة من حرارة مياه البحار .....                   |
| ١٧٨ | انتاج الطاقة من امواج البحر .....                         |
| ١٨٠ | انتاج الطاقة من حركة المد والجزر .....                    |
| ١٨٥ | حرارة الأرض مصدرا للطاقة .....                            |
| ١٨٦ | الطاقة من الينابيع الحارة .....                           |
| ١٨٩ | الطاقة من صخور الأرض الساخنة .....                        |
| ١٩٣ | استخدام طاقة الرياح .....                                 |
| ١٩٧ | استخدام غاز الهيدروجين في انتاج الطاقة .....              |
| ١٩٩ | استخدام الهيدروجين المسال .....                           |
| ٢٠٠ | استخدام هيدريدات الفلزات .....                            |
| ٢٠٧ | خلايا الوقود .....                                        |
| ٢١٣ | استخدام المخلفات النباتية والزراعية في انتاج الطاقة ..... |
| ٢١٣ | الخشب .....                                               |
| ٢١٦ | تحويل الخشب الى غاز باستخدام الطاقة الشمسية .....         |
| ٢١٨ | البيوماس .....                                            |
| ٢٢٩ | الجازوهول .....                                           |

|     |                                                 |
|-----|-------------------------------------------------|
| ٢٢٧ | انتاج الغاز من القمامة والنفايات                |
| ٢٣١ | تخزين الطاقة                                    |
| ٢٣٣ | استخدام الماء في تخزين الطاقة الكهربائية        |
| ٢٣٥ | استخدام الهواء في تخزين الطاقة الكهربائية       |
| ٢٣٦ | تخزين الكهرباء بواسطة البطاريات                 |
| ٢٣٧ | مركم الرصاص                                     |
| ٢٣٨ | بطارية الكبريت والصوديوم                        |
| ٢٣٩ | تخزين الطاقة في قطاع النقل                      |
| ٢٤١ | تخزين الطاقة في القطاع الصناعي وفي المدن        |
| ٢٤٥ | اثر انتاج الطاقة على البيئة                     |
| ٢٤٥ | التلوث الناتج من استخدام انواع الوقود التقليدية |
| ٢٤٨ | الطاقة النووية والبيئة                          |
| ٢٤٩ | التلوث الحرارى                                  |
| ٢٥١ | المخلفات النووية                                |
| ٢٥١ | اثر مصادر الطاقة الاخرى على البيئة              |



# مقدمة

يحتاج الانسان إلى الطاقة في حياته اليومية احتياجا شديدا ، فهو يستخدمها كل يوم في ادارة آلاته في المصانع ، ويحرك بها وسائل النقل بأنواعها المختلفة في كل مكان ، في المدن وفي الجو ، وفي البحار والمحيطات ، ويدير بها كثيرا من ادواته المنزلية ، إلى غير ذلك من الاغراض .

وكل حركة يقوم بها الانسان تحتاج إلى استهلاك قدر من الطاقة ، وهو يستمد طاقته على العمل اليدوي والذهني من الغذاء المتنوع الذي يتناوله كل يوم ، فهو يحرق هذا الغذاء في خلاياه ، ويحوّله إلى طاقة يستخدمها في تحريك عضلاته ، وفي أداء أعماله اليومية .

وقديما كان الانسان يستخدم عضلاته وقوته البدنية في تحريك الأشياء ، وفي القيام بمختلف الأعمال ، ثم نجح بعد ذلك في استئناس بعض الحيوانات ، واستخدامها في القيام بالشاق من الأعمال .

وقد تمكن الانسان بعد ذلك من استغلال حركة الرياح في تحريك السفن في الأنهار والبحار ، واستخدامها كذلك في ادارة بعض طواحين الهواء ، كما تمكن من استغلال الفرق في منسوب المياه في أجزاء بعض الأنهار في ادارة بعض السواقي وبعض الآلات .

وقد عرف الانسان الفحم منذ أن اكتشف النار ، ولاحظ أن بعض الاحجار السوداء الموجودة طبيعيا ، تقبل الاشتعال ، وقد استخدم هذا الفحم بعد ذلك كمصدر من مصادر الطاقة ، ثم بدأ بعد ذلك في استخدام ضغط البخار في تحريك الآلات .

وقد اكتشف الانسان بعد ذلك زيت البترول وما يصاحبه من غاز طبيعي ، واستطاع بعد أن زادت معرفته وتقدمت حضارته ، أن يحصل على كثير من المواد النافعة بتقطير الفحم ، وأن يجزئ البترول الخام إلى كثير من المقطرات المتنوعة ومتغيرة الخواص ، مما يسر له استخدامها في أكثر من مجال .

وقد فاق استعمال كل من البترول والغاز الطبيعي اليوم ، استعمال الفحم ، وأصبح البترول هو أهم مصدر من مصادر إنتاج الطاقة هذه الايام .

وقد ازدادت الحاجة إلى الطاقة هذه الايام بشكل متزايد ، ويرجع السبب في هذه الزيادة إلى زيادة أعداد السكان على مستوى العالم ، ولكنه يرجع بصورة أكبر إلى زيادة الأخذ بأساليب التكنولوجيا الحديثة في كل مكان ، وهى اساليب تعتمد على استخدام مزيد من الطاقة في كل المجالات .

وقد أدى كل ذلك إلى زيادة الطلب بصورة حادة على مختلف أنواع الوقود ، مما شكل ضغطا هائلا على مصادر الطاقة الطبيعية ، حتى بدأت بعض هذه المصادر غير المتجددة ، مثل الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعي ، في النضوب .

ولا ينتظر ان تبقى هذه الأنواع من الوقود طويلا ، بل يقدر أن ينضب كل من البترول والغاز الطبيعي على مستوى العالم خلال الخمسين عاما القادمة .

ويبدو الاستهلاك المتزايد للطاقة ومصادرها ، بصورة أكثر وضوحا في الدول الصناعية المتقدمة ، ولو أننا اخذنا الولايات المتحدة مثلا لهذه الدول ، فإننا نجد أن استهلاك الطاقة بها يتضاعف تقريبا كل عشرين عاما منذ بداية هذا القرن .

وقد يظن البعض أن هذه الزيادة الكبيرة في استهلاك الطاقة ترجع إلى زيادة اعداد السكان ، ولكن تبين من الاحصائيات التي أجريت في هذا الشأن أن هذا غير صحيح ، فتعداد سكان الولايات المتحدة لم يزد في الفترة التي تقع بين عامى ١٩٦٠ ، ١٩٨٠ إلا بمقدار ٢٥٪ ، على حين زاد استهلاك الطاقة في نفس هذه الفترة بنسبة أكبر من ذلك كثيرا ، وبلغت نحو ٨٠٪ .

ويتضح من ذلك أن نسبة الزيادة في استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة تزيد بأكثر من ثلاث مرات على نسبة الزيادة في اعداد سكانها .

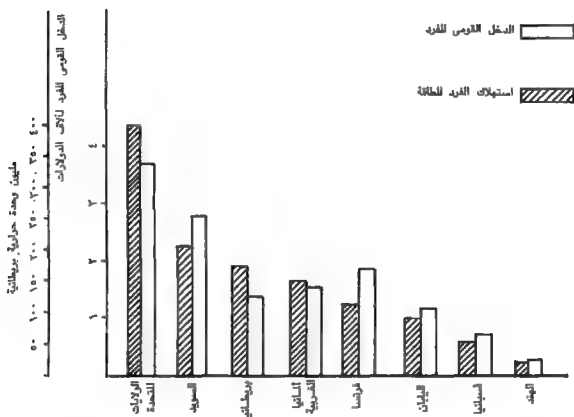
ويتبين لنا من هذا المثال ، أنه وإن كانت زيادة السكان تؤدي إلى زيادة الطلب على الطاقة ، إلا أنها لا تمثل العامل الوحيد المتسبب في زيادة استهلاكها ، ولكن توجد هناك بعض العوامل الأخرى التي تساعد على هذه الزيادة .

وتوجد مثل هذه الأنماط في كثير من الدول الأخرى ، خاصة في تلك الدول الصناعية المتقدمة والتي تمتلك مصادر غنية للطاقة وحدث بها تقدم سريع في بناء صناعاتها المختلفة .

وقد بينت بعض الدراسات أن هناك علاقة ما بين الزيادة في استهلاك الطاقة ، وبين النمو الاقتصادي للدولة ، بمعنى أن الزيادة في استهلاك الطاقة ،

تتناسب تناسباً طردياً مع التقدم التكنولوجي للدولة وليس مع الزيادة في تعداد سكانها .

كذلك لوحظ أن الزيادة في استهلاك الطاقة بالنسبة للفرد ، تتناسب طردياً مع الزيادة في انتاجه ، ويبدو ذلك بوضوح من الشكل البياني التالي الذي يبين العلاقة بين الزيادة في استهلاك الفرد للطاقة ( مقدرة بملايين الوحدات الحرارية البريطانية ) وبين الزيادة في دخل الفرد ( مقدرة بالآلاف الدولارات ) ، ويكاد يكون استهلاك الفرد للطاقة ودخله متساويين على وجه التقريب .



مخطط يبين الزيادة في استهلاك الفرد للطاقة ( مقدرة بملايين الوحدات الحرارية البريطانية ) بزيادة الدخل القومي للفرد ( مقدرة بالآلاف الدولارات )

ويتضح التساوي بين الزيادة في دخل الفرد والزيادة في استهلاكه للطاقة ، إذا علمنا أن كلا من الانتاج القومي واستهلاك الطاقة في دولة صناعية متقدمة مثل الولايات المتحدة ، قد ارتفع بنفس النسبة خلال الأربعين سنة الماضية بمعدل يصل إلى ٣ - ٣,٥ ٪ في السنة . وينطبق ذلك أيضا على كل من الدول الصناعية والدول النامية معا .

ومن الملاحظ ان انتقال المجتمع من مجتمع زراعى إلى مجتمع صناعى  
يصحبه عادة زيادة كبيرة فى استهلاك الطاقة ، وذلك بسبب تغير أنماط الحياة فى  
المجتمع الجديد ، وزيادة الطلب على كثير من السلع والخدمات التى تحتاج فى  
إنتاجها إلى استهلاك قدر كبير من الطاقة .

كذلك يلاحظ أن استهلاك الطاقة فى القطاع الزراعى قد زاد زيادة كبيرة فى  
السنوات الأخيرة ، وذلك لأن زيادة السكان فى كثير من دول العالم قد أصبحت  
شيئاً ملموساً ، وأصبحت بذلك هناك حاجة ماسة إلى إنتاج مزيد من الغذاء . وقد  
دعا ذلك إلى استخدام كثير من الآلات ، وإلى الميكنة فى عمليات الإنتاج الزراعى  
سواء فى عمليات حرث التربة أو فى عمليات الرى أو الحصاد وجمع المحاصيل أو فى  
عمليات تصنيع المخلفات الزراعية .

أما فى القطاع الصناعى ، فهناك زيادة مستمرة فى استهلاك الطاقة من يوم  
لآخر .

وقد لا يشعر أغلب الناس بهذه الزيادة بطريقة ملموسة ، ولكن الحاجة  
الدائمة إلى زيادة الإنتاج الصناعى ، وإلى تطوير كثير من السلع وتحسين نوعيتها  
يترتب عليه دائماً زيادة كبيرة فى استهلاك الطاقة ، وتبدو هذه الزيادة فى كل  
خطوات الإنتاج الصناعى ومراحله المختلفة ، سواء فى عمليات استخراج الخامات  
أو فى عمليات تنقيتها ، أو عند تشكيلها وتحويلها إلى مواد مصنعة .

ونجد مصداقاً لهذه الزيادة الهائلة فى استهلاك الطاقة فى دولة صناعية  
كبرى مثل الولايات المتحدة ، فقد زاد حجم الإنتاج الصناعى بها زيادة ضخمة  
بين عامى ١٩٦٠ ، ١٩٧٨ ، وبلغت هذه الزيادة فى الإنتاج أكثر من الضعف فى  
بعض القطاعات ، وقد صاحب ذلك زيادة هائلة فى استهلاك الطاقة فقد زاد  
استهلاك الطاقة عام ١٩٧٨ على ضعف القدر المستهلك منها فى عام ١٩٦٠ .

وترجع الزيادة الهائلة فى استهلاك الطاقة فى القطاع الصناعى هذه الايام  
إلى تطور طرق الإنتاج وإلى ظهور بعض التجهيزات الحديثة التى تستهلك مزيداً من  
الطاقة ، مثل الآلات ذاتية الحركة التى تطلق عليها مجازاً اسم الانسان الآلى ، كما  
ظهرت بعض الحاسبات الالكترونية المعقدة التى أدت إلى تشغيل بعض المصانع  
تشغيلاً ذاتياً ، وأدت إلى الاستغناء عن جهود كثير من العمال ، وقد ساعد على ذلك  
ارتفاع تكاليف العمالة التى ارتفعت إلى حدود كبيرة زادت على تكاليف استخدام  
المعدات الالكترونية فى عمليات التشغيل الذاتى ، ولا شك أن كل ذلك قد أدى إلى  
زيادة كبيرة فى استهلاك الطاقة على المستوى الصناعى .

أما في قطاع النقل ، فقد أدى انتشار استخدام السيارة في كل انحاء العالم إلى زيادة ضخمة في استهلاك الطاقة ، خاصة بعد أن أصبحت الاسرة التي تمتلك سيارتين شيئا عاديا في كثير من الدول الصناعية المتقدمة .

كذلك فان انتشار استخدام السيارة في عمليات نقل البضائع وشحنها والحاجة إلى تطوير وسائل النقل بصفة دائمة ، مثل ابتكار وسائل أكثر سرعة وأكثر كفاءة كالفئات والقطارات السريعة والشاحنات الكبيرة وغيرها قد تسبب في استهلاك مزيد من الطاقة ، خاصة بعض نواتج تقطير البترول مثل السولار والجازولين وما شابههما .

وتتضح هذه الزيادة بجلاء في دولة كبرى مثل الولايات المتحدة التي تعتمد عمليات نقل البضائع فيها على الشاحنات التي تجرى على الطرق السريعة ، فقد قدر استهلاك الجازولين فيها عام ١٩٨٠ بنحو ٥١٧ بليون لترًا ، بالمقارنة بنحو ٤١٠ بلايين لتر من الجازولين تم استهلاكها عام ١٩٧٠ ، أى أن الزيادة في استهلاك الجازولين خلال عشر سنوات تقدر بنحو ١٢,٦٪ .

وتتضح الزيادة الهائلة في استهلاك الطاقة على المستوى الدولى بصورة أكثر وضوحا في قطاع الكهرباء خاصة في الدول الصناعية المتقدمة .

ففى الولايات المتحدة مثلا ، نجد أنها قد استهلكت من الكهرباء عام ١٩٨٠ نحو ٣٨٠ مرة قدرما استهلكته منها عام ١٩٠٠ ، وهى زيادة هائلة لا تتناسب مع الزيادة في عدد سكانها ، ولكنها ترجع أساسا إلى الزيادة في الانتاج الصناعى وتقدم نموها الاقتصادى والأخذ بأساليب التكنولوجيا الحديثة .

وتوجد مثل هذه الزيادة الهائلة في استهلاك الكهرباء في كثير من الدول المتقدمة الأخرى .

وقد امتد هذا الاستهلاك الهائل للكهرباء إلى كثير من الدول النامية نتيجة لأخذها ببعض أساليب التكنولوجيا الحديثة وبدء بعض عمليات التصنيع بها .

كذلك أدى ارتفاع مستوى المعيشة في بعض هذه الدول إلى انتشار استعمال كثير من الادوات الكهربائية الحديثة في المنازل ، مثل أجهزة التكييف وآلات غسل الملابس وآلات غسل الصحون ، والخلاطات والثلاجات والتليفزيونات وغيرها ، مما كان يعتبر من أدوات الترف على المستوى الدولى حتى عام ١٩٥٠ ، ثم أصبحت اليوم تستعمل في كل مكان ، بل لم يتوقف استعمال هذه الأدوات

الكهربائية الحديثة على سكان المدن ، ولكنه امتد ليشمل سكان الريف في كثير من البلدان .

وينعكس هذا الاستهلاك المتزايد للطاقة على القطاع التجارى كذلك ، فأغلب المحلات التجارية مكيفة الهواء هذه الايام ، وتستعمل السلاالم الكهربائيه والمصاعد في الانتقال بين أدوارها ، كما تستعمل أنوار النيون في الاعلان عن بضاعتها ، وتستعين في ذلك بالعديد من الرسوم المتحركة التى تعمل بالكهرباء .

كذلك تنتشر اليوم في كثير من الدول الجراجات مكيفة الهواء والصالات الرياضية التى تتغير درجة حرارتها من فصل لآخر ، وحمامات السباحة ذات الماء الساخن شتاء ، وهى جميعا تضيف إلى تلك الزيادة الهائلة في استهلاك الطاقة التى يعانى منها العالم هذه الايام .

ويجابه العالم اليوم موقفا صعبا ، فالاسراف في استخدام الطاقة في كل مكان يهدد مصادر الطاقة التقليدية بالنضوب خلال بضع عشرات من السنين ، كذلك فإن اعتماد بعض الدول اعتمادا زائدا على مصادر الطاقة المستوردة يهدد نمو هذه الدول بشكل خطير ، ويؤثر على كيانها الاقتصادى وعلى استقلالها إلى حد كبير .

أيضا تسبب الزيادة في حرق أنواع الوقود التقليدية نتيجة للزيادة في استخدامها في انتاج الطاقة ، كثيرا من المشاكل المتعلقة بتلوث البيئة في أغلب دول العالم مما يؤثر على صحة سكانها ويقلل من انتاجهم ، ويجب أن يتوفر الحل لكل هذه المشاكل في الأعوام القليلة القادمة ، كما يجب البحث عن مصادر جديدة للطاقة المتجددة تتميز بقله تكاليفها وبقله ما تسببه من تلوث للبيئة .

## مصادر الطاقة

تتعدد مصادر الطاقة الطبيعية التي يستخدمها الانسان اليوم ، مثل الفحم وزيت البترول ، والغاز الطبيعي وحركة الماء والهواء ، وحرارة الشمس ، والطاقة النووية وغيرها .

ولا تستعمل بعض مصادر الطاقة التقليدية مثل الفحم وزيت البترول بصورتها التي توجد عليها في الطبيعة ، بل لابد ان تجرى بعض العمليات الثانوية على هذه الأنواع من الوقود قبل ان تصبح صالحة للاستعمال في مختلف الأغراض .

وعادة ما تؤدي مثل هذه العمليات الثانوية التي يتطلبها تجهيز الوقود إلى رفع تكلفته كثيرا ، فالفحم المستخرج من باطن الأرض لا يمكن استعماله كما هو ، بل لابد وأن يخضع لبعض طرق المعالجة كما سنرى فيما بعد ، لازالة ما به من شوائب ، ولتكسيهه إلى حجم مناسب ، ثم يتم نقله بعد ذلك بواسطة الشاحنات أو السفن أو السكك الحديدية إلى مناطق التجمعات الصناعية .

كذلك فان تكاليف استكشاف زيت البترول ، وتكاليف استخراج من باطن الأرض ، ونقله من الآبار إلى معامل التكرير ، وتكاليف تجزئته وتحويله إلى مقطرات نوعية مثل الجازولين والسولار وزيت الوقود ، تتسبب كلها في رفع سعره كوقود ، مما يؤدي إلى زيادة تكلفة السلع التي يستخدم في انتاجها .

ويستفاد من الطاقة التي تنتج من كل من الفحم وزيت البترول عند احراقهما ، وتستغل الحرارة الناتجة منهما في عمليات التسخين وفي انتاج البخار لادارة الآلات في المصانع أو لادارة التربينات المولدة للكهرباء في محطات القوى ، وكذلك تستخدم نواتج تقطير البترول في ادارة محركات السيارات وبعض محركات الاحتراق الداخلي الاخرى .

وقد كان الفحم من أهم المصادر الطبيعية للطاقة في خلال القرن الماضي ، وما زال مستعملا لانتاج الطاقة حتى اليوم ، وهو يمثل حاليا نحو ٣٠٪ من الطاقة المستغلة اليوم .

ويقدر الفحم الموجود في باطن الأرض بعدة مئات من البلايين من الأطنان وهي قد تسمح باستغلاله نحو ٣٠٠ - ٤٠٠ عام أخرى ، إذا استمر معدل استهلاكنا للطاقة بنفس معدل استهلاكها اليوم .

أما زيت البترول والغاز الطبيعي ، فقد فاق استعمالهما في إنتاج الطاقة استعمال الفحم هذه الأيام ، ويقدر أن نحو ثلثي الطاقة المستخدمة اليوم على النطاق الدولي ، تعتمد في إنتاجها على كل من زيت البترول والغاز الطبيعي .

ويمكن القول بصفة عامة ، أن هذه المصادر الثلاثة للطاقة ، وهي الفحم وزيت البترول ، والغاز الطبيعي تمثل ما يزيد على ٩٠٪ من الطاقة المستخدمة في العالم اليوم .

ولا يتوقع الخبراء أن تحل أية مصادر أخرى للطاقة حتى عام ٢٠٠٠ ، محل هذه المصادر الثلاثة ، وهم يرون أنها ستبقى في مكان الصدارة حتى نهاية هذا القرن ، ويتوقعون كذلك ألا تقل مساهمتها في إنتاج الطاقة في أوائل القرن القادم على ٧٥٪ من مجمل الطاقة المستغلة ، بينما ستساهم بقية مصادر الطاقة الأخرى مثل الطاقة الشمسية والطاقة النووية وغيرهما في إنتاج ما تبقى من الطاقة بنسبة أن تزيد على ٢٥٪ .

وهناك بعض الدول التي تستطيع الحصول على كل ما تحتاجه من الفحم من مناجمها الخاصة ، أي أن لديها اكتفاء ذاتيا من الفحم ، ومن أمثلة هذه الدول الولايات المتحدة ، وبريطانيا ، وألمانيا ، فهذه الدول تملك من المناجم ما يساعدها على تزويد مصانعها بالطاقة اللازمة ، بل ويمكنها كذلك أن تصدر الفائض من الفحم إلى غيرها من الدول .

وتختلف الصورة تمام الاختلاف بالنسبة للغاز الطبيعي وزيت البترول ، فكثير من الدول الصناعية لا تملك ما يكفيها من البترول ، بل تعتمد في صناعاتها على استيراد حاجتها من الدول الأخرى ، ومن أمثلة هذه الدول اليابان التي تعتمد اعتمادا كليا على بترول الشرق الأوسط .

وتعتبر منطقة الشرق الأوسط من أغنى مناطق العالم بزيت البترول ، ومع ذلك فإن دول هذه المنطقة لا تعتبر من الدول الصناعية ، فهي لا تمتلك من الصناعات سوى قدر متواضع ، ولذلك فإن أغلب هذه الدول تعتبر من الدول المصدرة للبترول ، وهي تقوم بتصدير البترول الخام إلى كثير من دول العالم الصناعية ، وتعتبره مصدرا هاما من مصادر دخلها .

وحتى الدول الصناعية التي تمتلك حقولا للبترول في أراضيها ، فقد



لا يكفيها ما تستخرجه من خام البترول في أبارها ، ولذلك فقد تحتاج بعض هذه الدول إلى استيراد كميات كبيرة من زيت البترول لاستكمال حاجتها من الخارج .

ومن أمثلة هذه الدول الولايات المتحدة الأمريكية ، فعلى الرغم من أن لديها مخزونا كبيرا من خام البترول في مكانه الطبيعية في باطن الأرض ، كما أنها تقوم بتخزين كميات أخرى من البترول في مكان اصطناعي إلا أنها درجت على استيراد جزء كبير من حاجتها من خام البترول من بعض دول الشرق الأوسط وفنزويلا وغيرها .

ويبلغ المخزون من البترول في الولايات المتحدة نحو ٣٠ مليار برميل ، واستوردت نحو ٢٨٪ من حاجتها منه من الخارج عام ١٩٨٢ .

ويعتمد استخراج البترول المخزون في باطن الأرض على كثير من العوامل ، بعضها عوامل سياسية ، وبعضها الآخر عوامل اقتصادية ، فقد يكون من الأفضل استيراد البترول الخام من الخارج والاحتفاظ بهذا المخزون في مكانه لاستخدامه في المستقبل عندما تنضب المصادر الأخرى بالخارج .

كذلك قد يتعلق مثل هذا القرار بتكلفة استخراج الزيت المخزون ، فقد تكون تكلفة استخراجة عالية نسبيا ، بينما يكون استيراد الزيت من الخارج أقل تكلفة من استخراجه من الحقول المحلية .

وقد حاولت كثير من الدول الأوربية ، وكذلك الولايات المتحدة واليابان ، أن تقلل من اعتمادها على بترول الشرق الأوسط في أعقاب الحظر العربي لتصدير البترول نتيجة لازمة الشرق الأوسط والحرب التي نشبت بين العرب والإسرائيليين عام ١٩٧٣ .

وقد نتج عن هذا الحظر قلة المعروض من البترول في الأسواق العالمية ، وتأثرت بذلك كثير من الدول الصناعية ، واصطفت السيارات والشاحنات في صفوف طويلة أمام محطات البنزين في كل من أوروبا وأمريكا ، وارتفعت أسعار البترول الخام وأسعار المقطرات الناتجة منه ارتفاعا كبيرا ، فقفز سعر برميل البترول من نحو دولار ونصف تقريبا إلى نحو ٤٠ دولارا في بعض الأحيان .

وقد تسبب هذا الحظر ، وما صاحبه من ارتفاع في الأسعار ، في إصابة اقتصاد كثير من الدول باضرار كبيرة ، فقد أدى ذلك إلى ارتفاع سعر تكلفة كثير من المنتجات الصناعية ، وإلى ارتفاع أسعار كافة السلع في الأسواق .

وقد أحست بعض هذه الدول بالخطر الذي يتهدها ويهدد أمنها الصناعي ، وقامت باتخاذ كثير من الإجراءات التي تهدف إلى خفض استهلاكها من الطاقة

وإلى تقليل اعتمادها على البترول المستورد ، وعلى البترول العربى بصفة خاصة .  
وقد تكون لهذا الغرض نوع من الاتحاد غير المعلن بين الدول المستهلكة  
للبنترول ، وتكون فى مقابلته اتحاد آخر معلن من الدول المنتجة للبنترول باسم منظمة  
الدول المنتجة والمصدرة للبنترول « الوبك »

وقد كان هدف الاتحاد غير المعلن بين الدول الصناعية المستهلكة للبنترول  
متعدد الاتجاهات ، وتضمن أحد هذه الاتجاهات البحث عن مصادر جديدة للبنترول  
فى أماكن أخرى من العالم ، ودفع عمليات الاستكشاف والتنقيب للكشف عن حقول  
جديدة للبنترول .

كذلك تضمن أحد هذه الاتجاهات البحث عن بدائل أخرى جديدة للطاقة  
خلاف البنترول ، ويمكن استغلالها صناعيا ، مثل استغلال الطاقة الشمسية أو  
استخدام الطاقة النووية فى توليد الكهرباء ، وخصصت لذلك اعتمادات مالية  
ضخمة وضعت تحت تصرف العلماء للصرف منها على بحوثهم وتجاربهم فى هذا  
المجال .

كذلك قامت هذه الدول بالاهتمام بتخزين الطاقة كما سنرى فيما بعد ،  
ووضعت مخططا جادا للحد من استهلاكها التزم به الجميع سواء فى المنازل أو فى  
مجال النقل أو مجال الصناعة .

أما بالنسبة لمنظمة الدول المنتجة والمصدرة للبنترول وهى منظمة الوبك ، فقد  
كان هدفها الأول هو تنظيم إنتاج البنترول فيما بينها ، وتحديد حصة محددة لكل  
دولة من الدول الأعضاء فى هذه المنظمة ، وذلك فى محاولة للسيطرة على السوق  
العالمية ، والمحافظة على أسعار ثابتة للبنترول .

وقد نجحت الدول الصناعية المستهلكة للبنترول فى تحقيق أهدافها ، فقد  
تمكنت هذه الدول من أن تجد مصادر جديدة للبنترول فى أماكن أخرى ، مثل الأسكا  
وبحر الشمال ، كما استطاعت أن تخفض من استهلاكها للبنترول بنسبة كبيرة .  
فقد استطاعت الولايات المتحدة أن تقلل من اعتمادها على البنترول المستورد بين  
عامى ١٩٧٩ - ١٩٨٢ بنسبة كبيرة وصلت إلى نحو ٤٨٪ من استهلاكها السابق .

كذلك تقدمت البحوث الخاصة بإيجاد بدائل لانتاج الطاقة فى كثير من  
المجالات ، كما كللت بالنجاح الجهود الخاصة بتخزين الطاقة كما سنرى فيما  
بعد .

وقد أدت قلة الطلب على البنترول من الدول الصناعية ، إلى خفض سعر  
البنترول فى السوق العالمى بشكل كبير حتى وصل سعر برميل الزيت إلى نحو عشرة

دولارات في بداية عام ١٩٨٦ .

أما دول منظمة الاوبك فلم تجد أمامها إلا أن تقلل انتاجها من البترول في محاولة للحد من تدهور سعره في السوق العالمي .

ويستخدم الغاز الطبيعي كذلك مصدرا للطاقة في كثير من الدول ، وهو يساهم بقدر لا بأس به في انتاج الطاقة في بعض البلاد ، ففي الولايات المتحدة مثلا يوفر الغاز الطبيعي نحو ٢٥٪ من الطاقة المستخدمة بها .

وتقدر كمية الغاز الطبيعي المخزون في اراضى الولايات المتحدة بنحو ٦ تريليونات مترمكعب (  $6 \times 10^{12}$  م<sup>٣</sup> ) في عام ١٩٨٢ ، على حين كانت كمية الغاز التي كانت مخترنة في اراضيها منذ عشرين عاما ، أكثر من ذلك بمقدار الربع .

ويرجع السبب في قلة المخزون من هذا الغاز حاليا في الولايات المتحدة إلى زيادة استخدامه في انتاج الطاقة ، مع قلة ما استكشف منه خلال الأعوام الماضية .

وتتوقف القيمة الاقتصادية للغاز الطبيعي على طبيعة المناطق التي يتوفر بها ، وهو يشبه في ذلك زيت البترول ، وذلك لانه عادة ما يوجد مصاحبا له ، فكلما زاد عمق المكمن الذي يوجد به هذا الغاز ، زاد عمق الصفر وزادت بذلك تكاليف انتاجه ، وارتفاع سعر المتر المكعب منه .

ويستخدم الغاز الطبيعي في جمهورية مصر العربية مصدرا للطاقة في بعض الصناعات ، مثل مصنع اليوريا في أبى قير بجوار الاسكندرية ، كما يستخدم وقودا في المنازل في عمليات الطهو والتسخين بمدينة القاهرة وضواحيها . وكذلك يستخدم في محطات توليد القدرة الكهربائية في شبرا وأبوقير .

ويستخدم الغاز الطبيعي أيضا في توليد الكهرباء ، ففي الولايات المتحدة بلغت نسبة الكهرباء المولدة من الغاز الطبيعي عام ١٩٨٠ بنحو ١٥٪ تقريبا ، بينما بلغت نسبة الكهرباء المولدة باستخدام الفحم نحو ٦٠٪ ومن زيت البترول نحو ١٠٪ ومن المصادر المائية نحو ١١٪ .

ويعتبر الغاز الطبيعي من انظف مصادر الطاقة وأيسرها في الاستعمال ، فهو لا يحتاج إلى معالجة لازالة الشوائب كما في حالة الفحم ، ولا إلى تجزئة وتقطير لفصل مكوناته كما في حالة البترول ، ولكنه يستعمل في أغلب الاحوال بالحالة التي يخرج عليها من باطن الأرض .

ويضاف إلى ذلك أنه يسهل نقل الغاز الطبيعي من مكان لآخر في خطوط أنابيب مطبوعة تحت سطح الأرض .

ومن المعتقد أن الغاز الطبيعي سينضب في نهاية هذا القرن على مستوى العالم ، أو على أفضل الظروف في أوائل القرن القادم ، ولذلك لا يمكن الاعتماد عليه كثيرا إلا لفترة وجيزة قد لا تتجاوز عشرين عاما .

ويمكن استخدام بعض المصادر المائية في توليد الطاقة ، خاصة في توليد الكهرباء ، ولكن مثل هذه المصادر محدودة إلى حد كبير وتعتمد على طبيعة المجرى المائي نفسه .

وتستغل المصادر المائية عادة في توليد الكهرباء ، وتقام محطات توليد الكهرباء فوق القناطر أو السدود ، أو عند مساقط المياه ، وهي تستغل قوة دفع الماء في تشغيل التربينات المولدة للكهرباء .

وتستغل المساقط المائية أو الخزانات في توليد الكهرباء في بعض الدول ، مثل السويد والولايات المتحدة ، ولكن القيمة الاقتصادية لمثل هذه المصادر المائية محدودة إلى حد كبير في مثل هذه الدول ، ففي الولايات المتحدة مثلا لا توفر هذه المصادر إلا نحو ١١٪ فقط من احتياجاتها من الكهرباء .

وفي جمهورية مصر العربية يستغل كل من السد العالي وخزان أسوان في توليد الكهرباء ، وذلك بالإضافة إلى بعض محطات توليد الكهرباء الأخرى القائمة فوق بعض القناطر على النيل ، وهي في مجموعها توفر نحو ١٠ - ١٢ مليار كيلو وات ساعة في السنة .

وهناك بعض المصادر الأخرى التي تصلح نظريا لإنتاج مزيد من الطاقة ، ولكن أغلب هذه المصادر ما زالت في طور البحث والتطوير ، وهي لا تصلح اليوم للاستغلال بشكل اقتصادي ، ولكنها قد تصلح لذلك في نهاية هذا القرن أو في أوائل القرن القادم .

وهناك كذلك بعض الصعوبات الفنية التي تؤخر استخدام بعض هذه المصادر الجديدة ، ومن أمثلة ذلك خلايا الوقود التي تعمل بكفاءة عالية تصل أحيانا إلى ٧٠٪ ، وهي أكثر بكثير من أنواع الوقود الحفريّة الأخرى مثل الفحم وزيت البترول التي لا تزيد كفاءتها على ٤٠٪ على الأكثر ، ولكنها لا تعطى حتى الآن تيارا كهربائيا كافيا لتشغيل الآلات .

ويعتبر استعمال الوقود الغازي ، مثل استخدام خليط من غازي الهيدروجين والأكسجين لإنتاج الكهرباء مباشرة دون الحاجة إلى استخدام

غلايات أو تربينات ، من أصلح الطرق وأبسطها لتوليد الكهرباء ، فهذا النوع من الخلايا لا تنتج منه ملوثات للبيئة كما في حالة أنواع الوقود التقليدية ، وذلك لأن عدم هذه الخلايا هو بخار الماء ، وهو مكون طبيعي من مكونات البيئة المحيطة بنا .

وللأسف الشديد ، فإن تكلفة تشغيل هذه الخلايا مازالت حتى الآن مرتفعة إلى حد كبير مما لا يسمح باستخدامها بطريقة اقتصادية ، فما زالت تكلفتها أكبر بكثير من تكلفة الطاقة الناتجة من أنواع الوقود المعتادة أو من الطاقة النووية ، ولا شك أن ذلك سيؤدي إلى رفع أسعار الكهرباء الناتجة منها إلى حد كبير .

ولا يمكن في هذه المرحلة تقييم مثل هذه المصادر الجديدة بدقة كاملة ، فما زالت هناك بعض الصعوبات الخاصة بتشغيلها على نطاق واسع ، كما أن الكثير منها مازال يخضع لبحوث التجديد والتطوير .

وينطبق ذلك أيضا على كل من الطاقة الشمسية والطاقة النووية ، وسيعتمد هذا التقييم مستقبلا على مدى التقدم التكنولوجي الذي سيتحقق على مستوى العالم في الاعوام القادمة ، وكذلك على مدى نجاح البحوث الجارية في تطوير مثل هذه المصادر وتحسين أدائها ، وذلك بالإضافة إلى كثير من المتطلبات الأخرى التي يجب مراعاتها مثل الحفاظ على البيئة وأثر مثل هذه المصادر الجديدة على المشكلة العامة للتلوث ، وبالإضافة أيضا إلى بعض العوامل السياسية الأخرى التي تتحكم في توزيع مصادر الطاقة وكيفية استغلالها .



## الفحم

يستخرج الفحم من باطن الأرض ، وهو أحد المصادر الهامة للطاقة في هذا العصر .

ولا يوجد للفحم تركيب ثابت ، فهو خليط من عدة مواد ، ولذلك تتعدد رتبته وأنواعه من مكان لآخر ، ويحتوى الفحم على قدر معين ومتغير من الكربون يتوقف على نوع الفحم ورتبته ، كما يحتوى على قدر آخر من المواد المتطايرة بالإضافة إلى قدر قليل من المواد المعدنية وبعض الشوائب الأخرى .

وعند تسخين الفحم تبدأ بعض المواد المتطايرة في الخروج منه ، وهى تشتعل بلهب مدخن عندما تتقابل مع اكسجين الهواء .

وبارتفاع درجة حرارة الفحم ، يبدأ ما به من الكربون في الاشتعال ، ويستمر ذلك فترة من الزمان حتى ينتهى ما بالفحم من كربون ، ولا يتبقى منه في آخر الامر الا الشوائب المعدنية التى تظهر على هيئة رماد .

وقد عرف الانسان الفحم منذ عدة قرون ، ولكنه لم يستغل ويستعمل كمصدر حقيقى لانتاج الطاقة إلا خلال القرنين الماضيين .

وهناك بعض الآثار التى تدل على أن الانسان قد استخدم الفحم كمصدر للنار في عصور ما قبل التاريخ ، وذلك للتدفئة ولاعداد الطعام .

ويبدو أن الانسان الأول لم يكتشف الفحم إلا مصادفة ، وربما كان ذلك عندما حاول الانسان أن يستخدم بعض الاحجار في تسخين الطعام ، واستعمل مع هذه الاحجار قطعاً من الفحم على أنها حجارة مثل غيرها من الاحجار .

ولابد أن الانسان الاول قد دهش كثيراً عندما لاحظ أن هذه الاحجار السوداء قد أمسكت بها النيران . وقد عرف الانسان الأول القيمة الحقيقية لهذه الاحجار السوداء منذ ذلك الحين ، واستخدمها بعد ذلك في إعداد النيران .

وقد عرف الفحم في كل من الصين وبلاد الاغريق قبل الميلاد ، وجاء ذكره أيضاً في التوراة ، ووصفه كذلك الفيلسوف اليونانى ارسطو الذى عاش في القرن الرابع قبل الميلاد .

وقد عرفت بعض بلدان اوربا الفحم واستخدمته منذ نحو ألف عام ، فقد تم استخراجها من باطن الأرض في ألمانيا في نهاية القرن التاسع الميلادي ، كما تم تعدينه في إنجلترا في القرن الثالث عشر ، واستعمل مصدرا للحرارة عند الحدادين ، وفي مختلف الورش والمسابك .

وقد استُخدم الفحم منذ قديم الزمان في عمليات التدفئة والتسخين وإعداد الطعام في المنازل في اوربا ، ولكن افراد الطبقة الغنية في ذلك الحين كانوا يستخدمون الخشب في هذه الأغراض ، وترك الفحم لافراد الطبقات الفقيرة لاستخدامه في منازلهم ، وذلك لان استعمال الفحم كان أقل تكلفة من استخدام الخشب ، كما ان اللهب الصادر من الفحم عادة ما يكون مصحوبا بكثير من الدخان وبيعض الروائح غير المقبولة لاحتوائه على آثار من الكبريت .

وعلى الرغم من ان الفحم قد استخدم في اوربا كمصدر اساسي لانتاج الطاقة حتى نهاية القرن التاسع عشر ، فإنه لم يستخدم بكثرة في الولايات المتحدة ، وكانت تقع تحت الحكم البريطانى في ذلك الحين ، وذلك لانتشار الغابات بها وتوافر الخشب في كل مكان ، ولهذا لم يعتن احد باستخراج الفحم في ذلك الوقت ، وكانت أغلب أنواع الفحم المستعملة هناك مستوردة من الخارج .

وقد بدأ استخراج الفحم من باطن الأرض في الولايات المتحدة في القرن الثامن عشر ، ثم انتشرت مناجم الفحم بها بعد قيام الثورة الأمريكية . وبمرور الزمن قل اعتماد الولايات المتحدة تدريجيا على الفحم المستورد ، ثم اكتفت بعد ذلك ذاتيا بالفحم المستخرج من أراضيها .

وقد بدأ استخراج الفحم في منطقة الشرق الأوسط من بعض المناجم في شبه جزيرة سيناء في جمهورية مصر العربية خلال النصف الثاني من هذا القرن . ويقدر المخزون منه حاليا في هذه المناجم بحوالى ٣٥ مليون طن .

وقد أخذ الفحم وضعه الطبيعي كمصدر هام من مصادر الطاقة في منتصف القرن الثامن عشر عند بدء الثورة الصناعية في اوربا .

وقد شجع على ذلك ابتكار القاطرة الحديدية ، في النصف الأول من القرن التاسع عشر ، فقد كانت قطارات السكك الحديدية من أكبر عملاء مناجم الفحم وشركائه ، لانها كانت تستخدم في انتاج البخار اللازم لتسيير قاطراتها .

كذلك فقد يسرت هذه القاطرات نقل الفحم من مناطق تعدينه البعيدة عن العمران ، إلى اماكن استخدامه في المصانع والمدن .

وقد انتشر استخدام الفحم بعد ذلك في كثير من دول العالم ، وعم استعماله



كمصدر للطاقة في المصانع ، وفي عمليات التدفئة والتسخين في المنازل خاصة في دول أوروبا ذات الجو البارد .

وقد اعتبرت الدول التي لا توجد لديها مناجم للفحم في أراضيها ، أو لا تستطيع لسبب من الأسباب أن تستورد ما يكفيها من الفحم ، على أنها من الدول التي لن تستطيع أن تتقدم ، أو على الأقل لن تتمكن من اللحاق بركب الثورة الصناعية التي عرفتتها الدول الأخرى التي تمتلك مناجم للفحم .

ولم يحتفظ الفحم بأهميته كمصدر للطاقة خلال القرن العشرين ، وذلك بعد اكتشاف زيت البترول الذي أصبح من أشد المنافسين للفحم في هذا الزمان ، بل حل محله تماما في كثير من الحالات .

ويبدو اليوم أن هذه الصورة ستتغير إلى حد ما ، خاصة بعد أن أشارت كثير من التقديرات إلى احتمال نضوب المخزون من البترول في باطن الأرض ، خلال الأعوام القليلة القادمة .

وقد بدأ اليوم التفكير مرة أخرى في إعادة استعمال الفحم بصورة أوسع في شتى المجالات ، مما يؤشر بأن الفحم سيبدأ في استعادة مكانته كمصدر للطاقة على المستوى الدولي .

وتجري الآن كثير من البحوث التي تتعلق بإيجاد أفضل الطرق وأقلها تكلفة لاستخراج الفحم من باطن الأرض ، كما أن هناك بحوثا أخرى تتعلق باستنباط أفضل الطرق الممكنة لاستخدام الفحم في الآلات والمحركات الحديثة ، مع تلافى آثاره الضارة على الصحة العامة وعلى تلوث البيئة .

وتقع أهمية الفحم الأساسية في أنه يستعمل كمصدر للطاقة في محطات توليد الكهرباء ، فغالبا هذه المحطات المنتشرة في أنحاء العالم تستخدم الفحم لتوليد البخار اللازم لإدارة تربيناتها ، كذلك يستخدم الفحم بصفة رئيسية في تصنيع أنواع من فحم الكوك تستعمل بعد ذلك في صناعة الصلب ، وفي تصنيع بعض الفلزات الأخرى .

ويعتبر الفحم كذلك أحد المصادر الهامة لإنتاج كثير من المواد الكيميائية الهامة في حياة الإنسان ، وينتج عن تقطيره بمعزل عن الهواء عدة غازات وسوائل ، أهمها السائل المعروف باسم قطران الفحم الذي يستخدم في تصنيع كثير من المواد الكيميائية الهامة ، مثل الأدوية والأصبغ واللدائن وغيرها .

## منشأ الفحم

يتكون الفحم في باطن الأرض نتيجة لتفحم بقايا النباتات والأشجار ، ولذلك يقال أن الفحم يختزن في داخله الطاقة الشمسية التي سبق للنباتات أن امتصتها في أثناء حياتها على سطح الأرض .

وتمتلك أغلب النباتات القدرة على تصنيع غذائها بنفسها ، وهي تفعل ذلك بامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو ، وامتصاص الماء من التربة ، ثم تصنع منهما معا نوعا من السكر يعرف باسم سكر الجلوكوز ، الذي يسمى كذلك سكر العنب لتوافره في نبات العنب .

ويتم التفاعل بين الماء وبين غاز ثاني أكسيد الكربون بتأثير ضوء الشمس وفي وجود مادة الكلوروفيل ذات اللون الأخضر والتي تنتشر في أوراق النباتات وفي خلاياها .

وتستعمل النباتات سكر الجلوكوز الناتج من هذا التفاعل الكيميائي الضوئي كمصدر لانتاج الطاقة ، وهي تحول كذلك جزءا كبيرا منه إلى بعض المركبات الكيميائية الأخرى مثل النشا والسليلوز وغيرهما من المركبات التي تدخل في تركيب أجسامها وتساعد على النمو والتكاثر .

ومن الملاحظ أن كل هذه المركبات التي تتكون في خلايا النباتات جاءت أصلا من غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود بالهواء ، ولذلك فإن جزيئات كل هذه المركبات تحتوي على عنصر الكربون ، كما يحتوى كل منها على جزء من الطاقة الشمسية التي استخدمت في إنتاجها .

وعندما ينتهى عمر النبات ويذبل تحت الظروف المعتادة ، فإن كثيرا من هذه المركبات العضوية المحتوية على الكربون ، والموجودة بجسم النبات ، تبدأ في التحلل ، وتتأكسد في وجود أكسجين الهواء ، وتحول تدريجيا إلى مركبات ذات جزيئات أصغر ، فتقل بذلك الطاقة المختزنة في جزيئاتها الأصلية .

وقد تستمر عملية تحلل هذه المركبات إلى نهايتها ، فتتحول هذه المركبات مرة أخرى إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ، وهي الجزيئات الأصلية التي تكونت منها هذه المواد في أجسام النباتات في بادئ الأمر ، وتوصف هذه الجزيئات الأخيرة ، وهي جزيئات ثاني أكسيد الكربون والماء ، بأنها جزيئات فاقدة الطاقة ، أى أن طاقتها مساوية للصفر .

أما إذا مات النبات واستقر في قاع مستنقع ما ، فإن ماء المستنقع الراكد

الذى يغطى اعواد النبات ، لا يوجد به ما يكفى من غاز الاكسجين ، ولذلك فان اجسام هذه النباتات لا تتأكسد ولا تتحلل تحللا كاملا ، بل يقف تحللها عند حدود معينة لا يتعداها ، وقد يبقى بعضها على حالته الاصلية تقريبا .

وعندما تزداد اعداد النباتات الميتة التى تتجمع فى قاع المستنقع ، فإنها تتكدس بعضها فوق بعض ، وتنضغط تحت ثقلها ، وبمرور الزمن تتحول هذه البقايا النباتية إلى كتلة اسفنجية متماسكة . تعرف باسم « الخث » ، "Peat" .

وتحدث عملية تكوين الخث حتى الآن فى كثير من المستنقعات ، وتشاهد هذه الظاهرة بوضوح فى ايرلندا ، فتحوى مستنقعاتها على كثير من هذا الخث ، ويستخرجه السكان هناك ، ثم يجففونه ويستعملونه وقودا فى المنازل ، كما يستعملونه فى اخصاب التربة الزراعية أيضا .

ويعتبر تكون الخث الخطوة الاولى فى المشوار الطويل الذى تقطعه البقايا النباتية فى اثناء تحولها إلى الفحم .

وأغلب الفحم الذى نستخرجه اليوم من باطن الارض ، قد تكون فى الزمن السحيق ، منذ ما يقرب من ٢٥٠ مليوناً من الاعوام ، فى عصر يطلق عليه علماء الجيولوجيا اسم « العصر الكربونى » ، "Carboniferous Period" .

ويعتقد علماء الجيولوجيا ان اغلب الاراضى القارية فى ذلك الزمان كانت اراضى منخفضة وتغطى بالماء فى كثير من الاماكن مما أدى إلى إنتشار المستنقعات فى كثير من البقاع .

وقد عاشت فى هذه المستنقعات أنواع متعددة من النباتات التى كانت تختلف عن أنواع النباتات التى نعرفها اليوم ، وبمرور الزمن نمت هذه النباتات وتشابكت ، وتكونت منها أدغال كثيفة ملأت أغلب هذه المستنقعات .

وعندما ماتت هذه النباتات ، تراكت اعوادها وسيقانها فى قاع هذه المستنقعات ، وتكونت منها طبقات متعددة تكون منها الخث فيما بعد ، بعد مرور عشرات الاعوام .

ولابد أن كثيرا من هذه البقايا النباتية قد دفن بالتدريج تحت الرمال والطين الذى يكون قاع هذه المستنقعات ، وعندما تحركت القشرة الارضية بتأثير الزلازل ، تعرضت هذه البقايا الاسفنجية المعروفة بالخث لضغط شديد ودرجة حرارة مرتفعة فى باطن الأرض .

ونظرا لان هذه البقايا النباتية قد تعرضت للضغط والحرارة فى باطن الارض

بعيدا عن اكسجين الهواء ، فإن أغلب ما بها من مواد عضوية لم يتأكسد ، بل تقحم مباشرة وتحولت هي إلى فحم في نهاية الأمر .

ومن الطبيعي أن تحول البقايا النباتية إلى فحم ، لم يحدث في يوم وليلة ، ولكنه احتاج إلى عدة ملايين من السنين ، ويمكننا أن نقول : إن الناتج النهائي لهذا التحول ، وهو الفحم ، قد اختزن في داخله أغلب الطاقة الشمسية التي كان النبات قد امتصها خلال حياته السابقة على سطح الأرض ، وهذه الطاقة هي الطاقة التي تنطلق عند احتراق الفحم .

ونظرا لأن عملية التحول من النبات إلى فحم تحتاج إلى وقت طويل يقدر بملايين السنين ، فإن مثل هذه الرواسب الطبيعية من الفحم لا يمكن تجديدها في حياة الانسان ، ولذلك يجب المحافظة عليها واستعمالها بحرص شديد وعدم استنزافها .

وعلى الرغم من أن رواسب الخث ما زالت تتكون حتى اليوم في بعض المستنقعات ، إلا أنه لا يوجد أدنى احتمال لتحول هذه الرواسب إلى فحم في زماننا هذا ، اللهم إلا إذا حدثت تقلصات جديدة في القشرة الأرضية وتعرضت هذه البقايا النباتية لحرارة باطن الأرض العالية وضغطها الهائل .

## أنواع الفحم

يصنف الفحم الموجود طبيعيا إلى أربعة أنواع . ويعتمد هذا التصنيف على درجة التقحم التي تعرضت لها البقايا النباتية المعروفة بالخث .

ويطلق على كل نوع من أنواع الفحم اسم خاص كما يلي :

**اللجنيت Lignite** ، تحت البتيوميئي Sub - Bituminous البتيوميئي Bituminous ، الانثراسيت Anthracite واللجنيت هو أقل أنواع الفحم جودة ، حيث تقل به نسبة التقحم ، وتظهر به بوضوح بعض البقايا النباتية الأصلية ، وبعض الخلايا الخشبية ، ولهذا يطلق عليه اسم اللجنيت ، وهي كلمة مشتقة من الكلمة اللاتينية "Lignum" وتعنى الخشب .

ونظرا لاحتواء اللجنيت على قدر صغير من المواد المتقدمة ، يقال إنه يحتوى على قدر قليل من الكربون الثابت "Fixed Carbon" ، ولهذا يبدو لونه بنيا ، ويطلق عليه أحيانا اسم الفحم البنى .

ويحتوى فحم اللجنيت على نسبة عالية من المواد المتطايرة ، كما توجد به

نسبة عالية من الرطوبة ، وبصفة عامة فإن قيمته الحرارية منخفضة .

أما الفحم تحت البتيومينى فهو أسود اللون ، ولا تبدو فيه آثار الخلايا النباتية بوضوح ، أى لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة .

وقد اشتقت كلمة البتيومين من الكلمة اللاتينية “Bitumen” وتعنى القار ، وهى كلمة استعملت كثيرا لوصف عدد آخر من المواد التى تقبل الاشتعال مثل الاسفلت وبعض المواد المشابهة .

**والفحم تحت البتيومينى** ، متوسط التفحم ، ولهذا فهو يحتوى على قدر متوسط من الكربون الثابت يصل إلى نحو ٤٠٪ من وزنه ، ويحتوى كذلك على قدر متوسط من الرطوبة قد تصل إلى حوالى ٢٥٪ من وزنه الكلى .

**أما الفحم البتيومينى** فيمثل مرحلة متقدمة فى عملية تفحم البقايا النباتية ، ولهذا نجد ان نسبة الكربون الثابت فيه تزداد كثيرا ، وتصل فى بعض الاحيان إلى حوالى ٧٠٪ من وزنه الكلى ، بينما تقل نسبة الرطوبة فيه عما سبقه من أنواع ، ولا تزيد فيه على ١٥٪ فى المعتاد .

**والفحم البتيومينى** فحم جيد ، فهو سهل الاشتعال لقله ما به من رطوبة ، ولذلك يعتبر مصدرا جيدا للطاقة .

ويعرف الفحم البتيومينى أحيانا باسم الفحم الحجرى ، وهو يشتعل بلهب اصفر مدخن ، ويصاحب اشتعاله تصاعد بعض الروائح الكريهة وذلك لاحتوائه على نسبة صغيرة من الكبريت الذى يتأكسد عند احتراقه ويتحول إلى غاز ثانى اكسيد الكبريت ، وهو الغاز الذى يسبب الرائحة الكريهة ويسبب كذلك تلوث الهواء .

**أما فحم الانثراسيت** فهو يعتبر من أرقى أنواع الفحم ، وتصل فيه نسبة التفحم إلى درجة عالية ، فتبلغ فيه نسبة الكربون الثابت إلى نحو ٩٠٪ أو أكثر ، كما تقل فيه تبعا لذلك نسبة الرطوبة إلى حد كبير ، فلا تزيد فيه على ١ - ٢٪ من وزنه الكلى .

وقد اشتق اسم هذا الفحم من الكلمة الاغريقية “Anthrax” وهى تعنى الفحم ، وذلك للدلالة على جودته العالية .

ويتصف فحم الانثراسيت بلونه الأسود وسطحه اللامع ، وهو يحترق ببطء شديد ، ويحتاج اشتعاله إلى وقت أطول من الوقت اللازم لاشتعال أنواع الفحم الأخرى ، ولكنه يعطى قدرا اكبر من الحرارة عند اشتعاله ، ولذلك يقال أن قيمته

الحرارية أعلى من القيمة الحرارية لبقية أنواع الفحم الأخرى .

ويشتعل فحم الانثراسيت بلون أزرق باهت لقلّة ما به من مواد متطايرة ، كما لا ينتج عن اشتعاله دخان يذكر ولا رائحة كريهة ، ولا يترك وراءه رمادا لعدم احتوائه على شيء يذكر من الشوائب المعدنية ، ولخلوه تقريبا من عنصر الكبريت .

ويوجد فحم الانثراسيت في الطبقات الصخرية التي سبق أن تعرضت لضغوط هائلة أثناء تكوين الجبال في العصور الجيولوجية القديمة ، على حين توجد أنواع الفحم الأخرى ، التي تقل درجة تفحمها عن الانثراسيت ، في باطن الأرض في المناطق التي تعرضت لدرجة أقل من الضغط والحرارة .

## تعدين الفحم

لا يوجد الفحم عاريا على سطح الأرض إلا نادرا ، ولكنه يوجد في أغلب الأحوال في باطن الأرض على هيئة تجمعات أو رواسب يختلف عمقها من حالة إلى أخرى .

ويحتاج الأمر في أغلب الحالات إلى إبتداع وسائل مبتكرة واقتصادية لاستخراج هذا الفحم من مناجمه .

وعندما تكون رواسب الفحم قريبة من سطح الأرض ، أى عندما تكون طبقات التربة والصخور التي تغطي هذه الرواسب قليلة السمك ، فإنه يمكن عندئذ استخدام الطريقة التي تعرف باسم **التعدين السطحي** "Strip Mining" وهي تتضمن إزالة التربة السطحية التي تغطي هذه الرواسب لكشف طبقات الفحم واستخراجها .

أما إذا كانت رواسب الفحم على عمق كبير من سطح الأرض ، فإن طريقة التعدين السطحي تصبح غير صالحة لصعوبة إزالة طبقات التربة والصخور السمكة التي تغطي هذه الرواسب ، ولذلك يلزم حفر آبار في هذه التربة ، وصنع أنفاق تصل إلى رواسب الفحم .

وتعرف هذه الطريقة باسم **التعدين الأرضي** ، ويطلق على الأنفاق والممرات التي تحفر تحت سطح الأرض اسم **المناجم** .

## التعدين السطحي

تصلح هذه الطريقة لا استخراج رواسب الفحم السطحية أو رواسب الفحم التي تكون على عمق قليل من سطح الأرض .

وتستعمل بعض المعدات الحديثة في إزالة طبقات التربة التي تغطي رواسب الفحم ، وعندما تنكشف هذه الرواسب ، يتم تكسيروها بمعدات خاصة أو بالمتفجرات ، ثم تنقل بالشاحنات .

والمعدات المستعملة في إزالة التربة في هذه الطريقة قد تطورت كثيرا ، فأحدى آلات الحفر الحديثة المستخدمة لهذا الغرض تزن نحو ٢٠٠٠ طن ، وبها عجلة ضخمة يصل قطرها إلى ثمانية أمتار ، وعندما تدور هذه العجلة تحفر التربة وتنقل فتات الفحم في نفس الوقت إلى سيور خاصة ومنها إلى الشاحنات .

وتعمل هذه الآلة بسرعة كبيرة حتى أن معدل سرعة الحفر وإزالة التربة السطحية قد يصل إلى طن كل ثانية .

وعندما تكون طبقات التربة التي تغطي رواسب الفحم سميكة إلى حد ما ، ولا يسهل إزالتها بالطريقة السابقة ، كان تكون هذه الرواسب واقعة تحت أحد التلال ، فإنه يمكن استخدام طريقة أخرى قريبة الشبه من الطريقة السابقة .

ويتم في هذه الحالة تعرية رواسب الفحم في أحد جوانب التل ، ثم تستخدم آلة خاصة تشبه المثقاب لاختراق هذه الرواسب أفقيا وتفتيتها ، وتستعمل هذه الطريقة في كثير من البلدان ، ويبلغ قطر هذا المثقاب مترين في بعض الأحيان .

وعلى الرغم من انخفاض تكلفة عمليات التعدين السطحي ، إلا أنها تعتبر شديدة الضرر بالبيئة المحيطة بها ، فهي تحيل المنطقة التي يجري فيها العمل إلى مجموعة من الحفر العميقة والتلال ، وتشيع بها حالة من الفوضى الشديدة ، مما يجعل سطح التربة في هذه المنطقة غير صالح للزراعة وغير صالح للبناء .

وقد فطنت كثير من الدول التي يستخرج فيها الفحم بهذه الطريقة إلى هذه الأضرار ، فقامت بإصدار تشريعات خاصة وقوانين ، تفرض على الشركات التي تعمل بطريقة التعدين السطحي ، القيام بتسوية سطح التربة وإعادتها إلى طبيعتها . وتعاقب هذه القوانين كل من يترك سطح الأرض محفورا بهذا الشكل بعد استخراج الفحم .

## التعدين الأرضي

توجد أغلب رواسب الفحم على عمق كبير في باطن الأرض ، ولذلك فإن طريقة التعدين الأرضي التي تشمل انشاء المناجم في باطن الأرض ، هي الطريقة التي يغلب استعمالها لاستخراج الفحم في كل مكان .

وعندما تكون رواسب الفحم على عمق متوسط من سطح الأرض ، فإنه يفضل حفر انفاق مائلة للوصول إلى هذه الرواسب .

أما إذا كانت رواسب الفحم على عمق كبير في باطن الأرض ، فتحفر لهذا الغرض انفاق رأسية متعامدة على سطح التربة ، لتصل بين سطح الأرض ورواسب الفحم .

ويصل عمق هذه الانفاق إلى حد كبير في بعض الحالات ، ويتوقف ذلك طبعا على بعد رواسب الفحم عن سطح الأرض ، ففي الولايات المتحدة مثلا لا توجد رواسب الفحم على عمق كبير ، ولذلك لا يزيد عمق هذه الانفاق الرأسية على ٥٠٠ متر في المتوسط ، بينما توجد رواسب الفحم في أوربا على عمق كبير في بعض الأحيان ، ولذلك فقد يصل عمق البئر الرأسية في أوربا إلى نحو ١٠٠٠ متر في باطن الأرض .

وعندما تصل هذه الانفاق إلى العمق المطلوب بالقرب من رواسب الفحم ، تبدأ عملية انشاء المنجم ، وتحفر مجموعة من الممرات والحجرات التي تخترق رواسب الفحم .

ويستعمل العمال مصاعد خاصة للنزول في هذه الانفاق الرأسية ، وتستخدم هذه المصاعد كذلك لانزال المعدات المستعملة في الحفر ، وإنقل الفحم إلى سطح الأرض .

وهناك ثلاث طرق رئيسية لاستخراج الفحم من باطن الأرض . وتعرف إحدى هذه الطرق بطريقة الغرف والاعمدة "Room and Pillar" وهي تتضمن حفر مجموعة من الحجرات داخل رواسب الفحم نفسها ، مع ترك كتل من هذه الرواسب على هيئة أعمدة لتحمل سقف المنجم ، وتقويتها ببعض الدعائم من حين لآخر .

وتستعمل هذه الطريقة كثيرا في مناجم الولايات المتحدة ، ولا تترك أعمدة الفحم الحاملة لسقف المنجم بعد انتهاء العمل في هذا المنجم ، وإلا اعتبر ذلك تبديدا لكميات كبيرة من الفحم ، ولذلك يتم تكسير هذه الاعمدة الفحمية



واستخراج ما بها من فحم في نهاية عمليات التعدين ، ويترك سقف المنجم لينهار تحت ثقله الطبيعي .

وهناك طريقة اخرى لتعدين الفحم تعرف باسم طريقة « الجدار الطويل » ، "Long Wall Mining" ، يكون فيها وجه رواسب الفحم المعرض لعملية التعدين ، طويلا وعريضا بدرجة كافية .

وتستعمل في هذه الطريقة معدات خاصة بها عجالات مسننة تقطع الفحم من هذا الجدار عند دورانها ، وتقام في هذه الحالة دعائم قوية لحمل سقف المنجم كلما تقدم العمل . وتستخدم هذه الطريقة عادة في اوربا ، ولكنها قليلة الاستخدام في الولايات المتحدة .

وهناك كذلك طريقة « الجدار القصير » ، "Short Wall Mining" ويكون فيها وجه رواسب الفحم المعرض لعملية التعدين والقطع ، قصير إلى حد ما .

وتعتبر طريقة الجدار الطويل أكثر فائدة من الناحية الاقتصادية فهي تساعد على استخراج قدر أكبر من رواسب الفحم من المنجم ، كما انها تكون أكثر صلاحية عندما تكون رواسب الفحم على عمق كبير من سطح الأرض .

وطريقة استخراج الفحم المسماة بطريقة الغرف والأعمدة ، هي أقل هذه الطرق تكلفة ، فتصل تكاليفها إلى نحو عشر تكاليف طريقة الجدار الطويل ، وذلك لان الطريقة الاخيرة تزيد فيها تكاليف الحفر واقامة الدعائم وما إلى ذلك .

وقد كانت عمليات التعدين فيما مضى عمليات بدائية إلى حد كبير ، فكان الفحم يستخرج باستخدام المعاول وبعض المعدات اليدوية الأخرى ، أو باستخدام المتفجرات في بعض الأحيان ، وكثيرا ما كان الفحم ينقل من المناجم إلى سطح الأرض في عربات تجرها البغال خلال ممرات طويلة مائلة تصل المنجم بسطح الأرض .

وتستعمل الآن بعض الآلات الحديثة التي تقوم بكل هذه الاعمال معا ، فهي تقوم بتخريم رواسب الفحم بآلات خاصة ، ثم توضع المتفجرات في هذه الثقوب ، وتجمع فئات الفحم الناتجة بهذه الآلات على سيور خاصة .

وقد استعمل الديناميت فيما مضى لتكسير رواسب الفحم داخل المناجم ، وقد نشأت عن ذلك عدة مخاطر نتيجة لصعوبة التحكم في الطريقة التي يتفجر بها الديناميت ، ولذلك يستعمل الآن في كثير من الدول ، نوع خاص من المتفجرات لهذا الغرض .

وتعرف هذه المتفجرات باسم « المتفجرات المسموح بها ، Permissible Explosives » ، وهى تعتبر أكثر أمنا من الديناميت ، فهى تحترق بلهب قصير ، وعند درجة حرارة أكثر انخفاضا من درجة حرارة اشتعال الديناميت ، فتقتل بذلك خطورتها إلى حد كبير .

وتستعمل أحيانا بدلا من هذه المتفجرات ، اسطوانات تحتوى على غاز ثانى اكسيد الكربون المضغوط ، أو الهواء المضغوط ، وهى تصلح لتكسير الفحم من سطح الرواسب بنفس كفاءة المتفجرات ، ولكنها تخلو من الآثار الحرارية الناتجة من اشتعال المتفجرات .

ويمكن كذلك استعمال ضغط الماء لتفتيت الفحم من جدران المنجم ، ويتم ذلك عادة باستعمال خراطيم خاصة يدفع فيها الماء تحت ضغط مرتفع بواسطة بعض المضخات القوية ، وقد استعملت هذه الطريقة بكفاءة فى مناجم الفحم فى الاتحاد السوفيتى وفى اليابان .

وتستخدم فى عمليات نقل قطع الفحم من المنجم إلى سطح الأرض وسائل مختلفة ، فقد تستخدم فى ذلك عربات خاصة تشبه العربات المجرية ، وهى تقوم بنقل كتل الفحم ذات الاحجام المختلفة إلى مناطق تجميع خاصة فى داخل المنجم .

وفى بعض المناجم الكبيرة تستخدم آلات كبيرة من نوع خاص ، وهى تقوم تقريبا بكل الاعمال المطلوبة داخل المنجم ، فهى تقطع كتل الفحم من جدران المنجم بواسطة عجلات مسننة ، ثم تحمل هذه القطع بعد ذلك إلى مؤخرة الآلة بواسطة ميكانيكية خاصة حيث يتم تعبئتها فى عربات خاصة لنقلها إلى مناطق التجميع .

وتعرف هذه الآلات باسم « المعدن المستمر » "Continuous Miner" ويبلغ بعضها حدا هائلا من الكفاءة ، فقد يصل ما تقطعه وتنقله من كتل الفحم إلى ثمانية أطنان فى الدقيقة الواحدة .

ويتم نقل كتل الفحم من مناطق التجميع فى داخل المناجم إلى سطح الأرض بعدة طرق ، ففى حالة المناجم ذات الانفاق المائلة ، يتم ذلك بواسطة سيور خاصة تتحرك فى هذه الانفاق المائلة ، أما فى حالة المناجم ذات الانفاق الرأسية ، فيتم ذلك بواسطة مصاعد خاصة .

## الآخطار التى يتعرض لها عمال التعدين

يتعرض العمال الذين يعملون فى مناجم الفحم لكثير من الآخطار وأهم هذه الآخطار هى احتمال حدوث الانفجارات ، أو حدوث بعض الانهيارات التى تؤدى إلى سقوط سقف المنجم فوق رؤوس من يعملون فيه ، وهى آخطار يروح ضحيتها عدد كبير من العمال فى بعض الأحيان .

وتتركز أغلب إصابات العمال داخل المناجم عادة ، أمام سطح الحفر وفى المنطقة المواجهة له ، وهى منطقة العمل الرئيسية فى المنجم ، ولهذا فإن أغلب البحوث الخاصة بتقليل الآخطار التى يتعرض لها عمال المناجم ، تدور بصفة خاصة حول ابتكار بعض الآلات أو الأجهزة التى يمكن أن تقوم بالعمل فى هذه المنطقة بدلا من العمال .

ويعتبر غاز الميثان من أخطر العوامل التى تؤدى إلى حدوث الانفجارات داخل مناجم الفحم .

وينتج غاز الميثان عادة عند تحلل بقايا النباتات فى المستنقعات ، ولذلك فهو يعرف أحيانا باسم غاز المستنقعات "Marsh Gas" ، وهو يشتعل بلهب أزرق عندما يختلط بأكسجين الهواء .

ويوجد غاز الميثان كذلك مصاحبا للفحم فى مناجمه ، ولذلك يجب الاحتراس الشديد عند استخراج الفحم حتى لا يشتعل هذا الغاز ، ويؤدى إلى انفجار المنجم .

وقد ترتفع نسبة غاز الميثان فى هواء المنجم إلى حدود كبيرة قد تصل فى بعض الأحيان إلى نحو ١٥٪ من الحجم الكلى للهواء ، ولهذا يلزم دائما الكشف عن وجود هذا الغاز وتعيين نسبته فى الهواء الذى يملأ جميع ممرات وحجرات المنجم وأنفاقه .

ويكون غاز الميثان مع الهواء خليطا متفجرا ، خاصة عندما ترتفع نسبته عن حدود معينة ، وهو يعرف فى أوروبا باسم "Fire Damp" ويشتمل هذا الخليط بسهولة عند ملامسته لأى مصدر حرارى ، أو عند تعرضه لشرارة من إحدى الآلات ، وعند انفجاره يسبب أضرارا بالغة للعمال القائمين بعملية التعدين ، وقد يؤدى مثل هذا الانفجار إلى انهيار المنجم كله فوق رؤوس العاملين فيه .

وأولى الاحتياطات التى استخدمت لمنع حدوث الانفجارات الناتجة من اشتعال غاز الميثان فى المناجم ، كانت باستخدام مصباح خاص ابتكره العالم

البريطانى « سير همفرى ديفى » Sir Humphry Davy عام ١٨١٥ ، وعرف فيما بعد باسم مصباح الامان .

ومصباح الامان مصباح عادى ، إلا أن شعلته تحيط بها شبكة من أسلاك النحاس على هيئة إسطوانة .

وعند وجود قدر من غاز الميثان فى هواء المنجم ، تبدأ شعلة هذا المصباح فى التوهج وتزداد فى الحجم نتيجة لاشتعال غاز الميثان الذى تسرب إلى داخل المصباح .

ولا ينتقل هذا اللهب من داخل المصباح إلى الجو المحيط به ، لأن الشبكة المعدنية المحيطة بشعلة المصباح تمنع انتقال الحرارة من داخل المصباح إلى خارجه .

وتعتبر زيادة طول الشعلة وتوهجها فى داخل المصباح ، علامة جيدة تنبه القائمين بالعمل فى المنجم على وجود غاز الميثان فى الجو المحيط بهم .

ولا توجد هناك احتمالات لحدوث الانفجارات ، وذلك لانه عند زيادة نسبة غاز الميثان عن حد معين ، يطفأ المصباح تلقائيا لعدم وجود قدر كاف من الاكسجين لاستكمال عملية الاشتعال .

وقد استخدم هذا المصباح بكفاءة مدة طويلة داخل المناجم فى اوربا وامريكا ، وانتقل منها إلى كثير من دول العالم .

ويستعمل حديثا جهاز آخر أكثر تطورا ، يستطيع قياس نسبة غاز الميثان فى هواء المنجم ، وهو بذلك ينبه العاملين فى المنجم إلى زيادة نسبة هذا الغاز فى الهواء لاتخاذ الاحتياطات اللازمة قبل الوصول إلى درجة الانفجار .

وهناك مجموعة متخصصة من العمال الذين يحملون هذه الاجهزة ، وهم يطوفون بها جميع أرجاء المنجم ، وتكون مهمتهم الرئيسية الكشف عن نسبة غاز الميثان فى هواء المنجم .

وتعرف هذه المجموعة من العمال باسم "Fire Boses" وهى تعنى رؤساء الفيران عند ترجمتها حرفيا ، ويفضل تسميتهم بماتعى الفيران ، فهذه هى وظيفتهم الاساسية .

وغاز الميثان غاز مخادع ، فهو قد ينتشر فى هواء المنجم كله ، وقد يتجمع فقط فى أحد أركان المنجم ، أو يملا أحد الجيوب أو الممرات المنعزلة ، فلا يشعر بوجوده

أحد ، وهو بهذه الصورة الأخيرة قد يصعب اكتشافه رغم أنه يمثل خطرا شديدا على المنجم بأكمله .

ولهذا السبب فإن مجموعة العمال التى تحمل أجهزة الكشف عن الميثان عليها أن تتجول فى كل الممرات والأنفاق فى داخل المنجم ، ولا تترك ممرا جانبيا أو مكانا منعزلا دون أن تجوب فيه .

ولا يعتبر غاز الميثان هو المصدر الوحيد للخطر داخل مناجم الفحم ، بل يشترك معه كذلك غاز ثانى أكسيد الكربون ، وهو غاز أثقل من الهواء ، وعادة ما يتجمع بنسبة عالية فى الأماكن المنعزلة من المنجم .

وغاز ثانى أكسيد الكربون لا يشتعل ولا يساعد على الاشتعال ، ولهذا لا يعتبر خطيرا من هذه الناحية ، ولكن خطورته تقع فى أنه يسبب الاختناق لمن يستنشق ، ولذلك فهو يعرف بين عمال المناجم باسم مسبب الاختناق "choke Damp" .

كذلك قد يحتوى هواء المنجم على نسبة ما من غاز أول أكسيد الكربون ، وهو غاز سام ومميت ، ولكن هذا الغاز لا يوجد عادة إلا فى أعقاب الحرائق ، أو عقب حدوث أحد الانفجارات .

وبالإضافة إلى كل هذه الغازات ، فإن غبار الفحم الذى قد يملأ هواء المنجم يعتبر واحدا من الأخطار التى قد يتعرض لها عمال المناجم : فاستنشاق هذا الغبار يؤدى إلى تلوث الرئتين وإلى إصابة العمال بذلك المرض المعروف باسم « الرئة السوداء » "Black Lung" .

وينتج غبار الفحم عند تكسير رواسب الفحم داخل المنجم ، وهو قد ينتشر فى هواء المنجم كله ، ويزداد تركيزه بصفة خاصة عند سطح الحفر فى منطقة التشغيل .

وعندما ينتشر غبار الفحم فى الهواء على هيئة دقائق متناهية فى الصغر ، فإنه يصبح شديد الشبه بالغازات فى صفاته ، وهو يكون مع الهواء فى حالته هذه ، خليطا متفجرا يشتعل بعنف شديد عند صدور شرارة ما من إحدى الآلات المستخدمة فى الحفر .

وتمثل المياه الجوفية خطرا آخر على عمال التعدين ، ويزداد احتمال تجمع المياه الجوفية فى ممرات المناجم وأنفاقها عندما تكون هذه المناجم على عمق كبير من سطح الأرض .

ويؤدي تجمع هذه المياه إلى إعاقة حركة العمال في ممرات المنجم كما تؤدي إلى بعض الصعوبات المتعلقة بإدارة الآلات ، بالإضافة إلى صعوبة تجميع الفحم ونقله من مكان لآخر داخل المنجم .

وقد يؤدي تجمع الرطوبة على جدران المناجم إلى تمدد بعض الصخور المكونة لجدران هذه المناجم ، وإلى تفكك بعض الصخور المكونة لسقف هذه المناجم ، وقد يتسبب ذلك في انهيار بعض هذه الجدران فوق رؤوس العمال .

ويجدر بنا أن نذكر أن استخراج الفحم من المناجم ينشأ عنه تكون بعض الفراغات في باطن الأرض ، وإذا لم يحسب حساب ذلك جيدا ، وتتخذ الاحتياطات اللازمة ، فقد تحدث في هذه المواقع بعض الانهيارات غير المتوقعة ، مما قد ينشأ عنها حدوث خسائر جسيمة في الأرواح والممتلكات في المناطق السكانية الواقعة فوقها .

### الوسائل الحديثة للتخلص من الأخطار

هناك كثير من البحوث التي تجرى حاليا لابتكار وسائل مستحدثة للتقليل من الأخطار التي قد يتعرض لها عمال المناجم في أثناء استخراج الفحم من باطن الأرض .

وتتناول بعض هذه البحوث ابتكار طرق عملية للتخلص من غاز الميثان وأزالته من جو المنجم ، مع الاستفادة منه في نفس الوقت ، باستعماله كوقود بديلا للغاز الطبيعي .

كذلك زودت بعض مناجم الفحم بمراوح ضخمة تساعد على تهوية المنجم بطريقة جيدة ، وهي تقوم بضخ الهواء النقي إلى كل مكان في المنجم ، مع التخلص من الغازات الضارة التي يحتمل وجودها في جو المنجم .

ولا يكتفى بوجود مثل هذه المراوح الضخمة عند فوهة المنجم بل توضع كذلك مراوح أخرى في ممرات المنجم المتشعبة للمساعدة على تحريك الهواء وتخفيف نسبة الغازات الضارة فيه ، ومنع تجمعها في مكان واحد .

وتحتاج عملية تهوية مناجم الفحم إلى كثير من الحسابات ، وتتضمن هذه الحسابات عدة اعتبارات ، منها كفاءة المراوح المستخدمة وقوتها ، وأطوال الأنفاق الداخلية للمنجم وأقطارها ، وكذلك الطريقة التي تنتشعب بها هذه الممرات .

وقد أمكن التخلص من غبار الفحم في بعض المناجم بإطلاق رذاذ من الماء

عند وجه التشغيل ، مما يساعد على التقليل من انتشار هذا الغبار في الهواء .  
كذلك لجأت بعض المناجم إلى رش مسحوق الحجر الجيري بآلات خاصة على  
أرضية الممرات ، فيختلط هذا المسحوق مع غبار الفحم ويمنع انتشاره ، كما يؤدي  
إلى تخفيف غبار الفحم بنوع آخر من الغبار لا يقبل الاشتعال ، وبذلك تقل خطورة  
انفجاره إلى حد كبير .

وتقتضى هذه الوسائل الحديثة كذلك أن يرتدى العمال القائمون بالعمل في  
منطقة التشغيل أقنعة خاصة لحمايتهم من الآثار الضارة لغبار الفحم وحتى  
لا يتعرضوا للإصابة بمرض الرئة السوداء .

ويمكن كذلك مقاومة رشح المياه الجوفية في المناجم بإقامة نظام جيد للصرف  
يسمح بسحب المياه بانتظام ويمنع تجمعها في المنجم .

وعادة ما يتم تجميع هذه المياه في خزانات خاصة في داخل المنجم ، ثم ترفع  
بعد ذلك هذه المياه بمضخات خاصة لتلقى بها خارج المنجم فوق سطح الأرض .

ويجب أن يتم التخلص من هذه المياه المحملة بغبار الفحم والتي تحتوي على  
كثير من الشوائب الأخرى ، بعناية كبيرة حتى لا تتلوث المنطقة المحيطة بالمنجم .

وللقضاء على أخطار الانهيارات التي قد تتعرض لها بعض مناجم الفحم ،  
تستعمل عادة دعائم من الصلب أو من الخشب لتثبيت الصخور التي تكون أسقف  
حجرات التشغيل وممرات المنجم .

وتجرى حاليا بعض التجارب التي تتضمن حقن هذه الصخور المكونة  
لأسقف المناجم وجدرانها بنوع خاص من الراتنجات الصناعية لزيادة تماسكها  
ومنعها من الانهيار ، ولزيادة مقاومتها للرطوبة أيضا .

وهناك طرق أخرى ميسرة لحماية هذه الصخور من التفتت بتأثير الرطوبة ،  
وذلك برش خليط من الاسمنت والرمل على أسقف المنجم وجدرانه ، ويتحول هذا  
الخليط عند جفافه إلى طبقة صلبة صماء غير منفذة للماء ، تحمي الصخور من فعل  
الرطوبة بها .

وبجانب كل هذه الاحتياطات المتبعة اليوم في أغلب مناجم الفحم ، فإنه من  
المتبع أيضا أن يرتدى عمال هذه المناجم ملابس خاصة تساعد على وقايتهم من  
الأخطار الأخرى التي قد تقابلهم أثناء عملهم ، ومثال ذلك ارتداؤهم لأحذية ثقيلة  
من الجلد السميك ، تحتوي مقدمتها على جزء واق من الصلب لحماية أطراف  
أصابع القدمين ، وارتداؤهم لعويونات خاصة غير قابلة للكسر لحماية أعينهم من

الشطايا المتطايرة ، واستخدامهم لخوذات صلبة لحماية رؤوسهم من الصخور المتساقطة .

وتخدم هذه الخوذات غرضا آخر كذلك ، فهي تحمل في مقدمتها مصباحا قويا من نوع مصابيح الأمان التي لا تسبب اشتعال الغازات ، ويتم تشغيل هذا المصباح ببطارية خاصة يحملها العامل في حزامه .

كذلك تهتم بعض الدول بتلقين عمال المناجم بعض الدروس الخاصة بالاسعافات الأولية ، حتى يتمكنوا من مجابهة بعض حالات الطوارئ البسيطة ، ويتمكنوا كذلك من القيام بعلاج بعض الحوادث التي قد تقع لبعض زملائهم في داخل المنجم .

## تجهيز الفحم للمستهلك

لا يصلح الفحم الخارج من المنجم لاستعماله مباشرة ، وذلك لأنه يكون عادة على هيئة كتل متفاوتة الأشكال والأحجام ، كما أنه يحتوى على قدر كبير من الفتات وتراب الفحم المختلط ببعض فتات الصخور ، وببعض الأتربة الناتجة في أثناء عمليات الحفر .

ويتطلب الأمر معالجة هذا الفحم بطرق خاصة لتصنيفه وجعله صالحا للاستعمال في مختلف الأغراض قبل طرحه في الأسواق .

وتتم معالجة الفحم عادة في مصنع مخصص لهذا الغرض ، فيوضع الفحم الوارد من المناجم على سيور خاصة تحمله الى قمة هذا المصنع ، ويبدأ من هناك في المرور على مجموعة من المناخل المختلفة ، فيتم فصله الى أجزاء متجانسة ، يتكون كل منها من كتل متشابهة في الحجم ، وتفصل منها كل الشوائب والأتربة والرمال وفتات الصخور .

أما كتل الفحم الكبيرة فيعاد تكسييرها في آلات طحن خاصة تحولها الى كتل متوسطة الحجم ، وتضم هذه الكتل بعد ذلك الى بقية الفحم لتتخذ من جديد .

ويتبقى من كل ذلك كتل الفحم الصغيرة جدا ، وهي تكون مختلطة بكثير من فتات الصخور ، وهي تفصل بعدة طرق ، وتسمى إحدى هذه الطرق بطريقة **التعويم** ، فتلقى هذه الكتل الصغيرة في أحواض مملوءة بالماء ، فتطفو قطع الفحم فوق سطح الماء لأنها أخف وزنا ، على حين ترسب الأتربة والصخور في القاع لأنها أثقل في الوزن .



وهناك طرق أخرى لفصل كتل الفحم الصغيرة من الأتربة وفتات الصخور ، وذلك بدفع تيار من الماء فوق قطع الفحم المحملة على شبكة معدنية ، أو يدفع تيار من الهواء فوق هذه الكتل لتنظيفها من الشوائب .

وغالبا ما تكون هذه المصانع أو الوحدات المستخدمة في معالجة الفحم وإعداده للمستهلك ، من النوع ذاتي التشغيل فهي لا تحتاج إلا لعدد قليل من العمال .

ويصنف الفحم بعد انتهاء معالجته بالطريقة السابقة الى عدة « رتب » “Grades” ، وهي تختلف عن أنواع الفحم التي سبق ذكرها ، فالنوع تقسيم طبيعي يتعلق بالحالة التي يوجد عليها الفحم في الطبيعة ، أما الرتبة فهي تصنيف متفق عليه يوصف به الفحم المعالج والمعد للطرح في الأسواق ، وهي تعتمد على نسبة ما بهذا الفحم من رواسب معدنية ( نسبة الرماد ) ، ونسبة ما به من عنصر الكبريت .

وعادة ما تطلق أسماء خاصة على قطع الفحم ، وذلك تبعا لأحجامها المختلفة ، وتشبيهها لها ببعض الأشياء الأخرى التي نراها كل يوم في حياتنا اليومية ، فتوصف بعض أشكال الفحم البتوميني وفحم الانثراسيت بالأسماء التالية :

|       |            |       |      |
|-------|------------|-------|------|
| Nut   | بندق       | Egg   | بيض  |
| Stove | قطع الموقد | Lumps | كتل  |
| Slack | رخي        | Pea   | بسلة |
|       |            | Rice  | أرز  |

ومن الملاحظ أن هذه الأسماء والأوصاف تتعلق أساسا بحجم كتل الفحم وشكلها العام .

## طرق نقل الفحم

لا يستخدم الفحم في أماكن استخراجه ومعالجته دائما ، بل يتم نقله في أغلب الأحيان الى مناطق استخدامه ، وإلى الأسواق العالمية التي قد تبعد عن مناجمه بآلاف الكيلومترات .

وعادة ما يتم نقل الفحم بالسكك الحديدية في عربات مخصصة لهذا الغرض وذات شكل خاص ، ويغلب أن تكون هذه العربات مخروطية القاع حتى يسهل

تفريغها دون الحاجة الى استخدام معدات خاصة لذلك .

وقد تستخدم الشاحنات في نقل الفحم ، كما قد تستخدم الأطواق في نقله عن طريق المجارى المائية والأنهار ، وتفضل هذه الطريقة الأخيرة عندما تكون مناجم الفحم قريبه من الأنهار .

كذلك تستخدم بعض السفن والناقلات البحرية المخصصة لهذا الغرض في نقل الفحم الى الأسواق العالمية عبر المحيطات والبحار .

وهناك طريقة أخرى مستخدمة تجد قبولا شديدا عند المهتمين باستخراج الفحم وتسويقه ، وهى تتضمن نقل الفحم من مكان لآخر بواسطة خطوط أنابيب خاصة ، تشبها بكل من الغاز الطبيعى وزيت البترول ، وهم يرون أن هذه الطريقة ستدفع باقتصاديات الفحم الى الامام ، وكلنا نعرف مدى ماقدمته فكرة النقل بالانابيب من تقدم لانتاج واقتصاديات الغاز الطبيعى وزيت البترول .

وفي حقيقة الامر فإن فكرة نقل الفحم بواسطة الانابيب قد جالت بخاطر بعض منتجى الفحم منذ زمن بعيد ، وقد كان أول من فكر في تطبيق هذه الطريقة رجل أمريكى يدعى « ولاس اندروز » "Wallace W. Andrews" وقدم لذلك نموذجا صغيرا لهذا المشروع في معرض شيكاغو عام ١٨٩٣ ، ولكن هذا المشروع لم يلق قبولا في هذا الوقت ، واحتاج الامر الى الانتظار حتى عام ١٩١٤ لتحقيق هذه الفكرة عمليا .

وقد طبقت هذه الفكرة عمليا في انجلترا لنقل الفحم على هيئة خليط من الماء والفحم ، من شاطئ نهر التيمس الى محطة كهرباء تقع على بعد نحو ٤٥٠ مترا ، وقد استمر العمل بهذا الخط عدة سنوات .

وفي عام ١٩٢١ تمت دراسة ثلاثة مشروعات مماثلة في الولايات المتحدة ، لنقل ٧ ملايين طن من فحم الانثراسيت في العام لمسافة ٢٥٠ كيلومترا ، ولم يخرج هذا المشروع الى حيز التنفيذ بسبب ضغط شركات السكك الحديدية على المسؤولين ، فقد كانت هذه الشركات معرضة لفقد جزء من دخلها الناتج من احتكارها لنقل الفحم لو نفذ هذا المشروع .

وفي عام ١٩٥٧ استطاعت بعض شركات الفحم ان تقنع سلطات ولاية اوهايو في الولايات المتحدة ببناء خط انابيب لنقل الفحم لمسافة نحو ٢٠٠ كيلومتر ، واطلق عليه اسم « خط اوهايو » "Ohio pipe-line" .

وفي نفس هذه الفترة تقريبا انشئ خط مماثل لنقل الفحم في الاتحاد

السوفيتي ، وعرفت مثل هذه الخطوط التي تنقل الفحم باسم « كربودك »  
"Carboduc".

وقد توقف خط الانابيب في أوهايو عام ١٩٦٣ وان كان قد استخدم في نقل ٧ ملايين طن من الفحم .

وقد أعيد انشاء خط أنابيب مماثل في أريزونا بالولايات المتحدة عام ١٩٧٠ تحت اسم « خط أنابيب ميسا الأسود » "Black Mesa Pipeline" ويبلغ طوله نحو ٤٤٥ كيلومترا ، كذلك بنى خط مماثل في فرنسا عام ١٩٥٠ عرف باسم خط اللوردين ، وقد ساهم هذا الخط في نقل نحو ٣,٧ مليون طن من الفحم في العام لمسافة نحو ٤٥ كيلومترا .

ويدفع الفحم في هذه الانابيب بعدة طرق ، فيمكن دفع مسحوق الفحم بضغط الهواء ، ولكن هذه الطريقة تحتاج إلى ضغط هائل لتحريك الفحم ، كما أنها قد تؤدي إلى حدوث انفجار .

ويمكن كذلك دفع كتل الفحم متوسطة الحجم في الانابيب بعد خلطها بالماء أو بأي سائل آخر مثل الميثانول .

وتعتمد التكنولوجيا الحديثة لنقل الفحم على هذه الطريقة الأخيرة فيدفع الفحم على هيئة معلق في الماء في هذه الانابيب ، ويتحرك هذا الخليط بسهولة نسبية ويمكن دفعه بالمضخات على مسافات متباعدة .

ولا تخلو هذه الطريقة من بعض المشاكل ، فهناك احتمال انفصال هذا المعلق وترسيب الفحم في بعض مناطق من الخط ، خاصة عند حدوث أعطال أو توقف عملية الضخ .

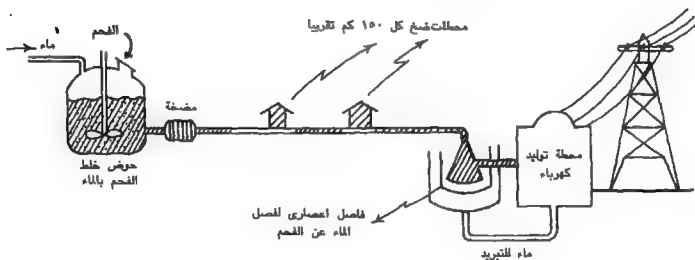
وقد حدث مثل هذا الترسيب في خط أوهايو في اليوم الأول لتشغيله ، وقد استطاع القائمون على هذا الخط التغلب على هذه المشكلة بضخ تيار من الماء في الخط على فترات منتظمة في أعقاب كل دفعة من معلق الفحم في الماء .

وهناك مشكلة أخرى يجب أخذها في الاعتبار ، وهي تنشأ عن التحات الممكن حدوثه للسطح الداخلي للأنابيب نتيجة لاحتكاك فئات الفحم وما به من شوائب معدنية مع جدران هذه الأنابيب أثناء اندفاعها مع تيار الماء .

كذلك يجب ان تأخذ في الاعتبار مشكلة التآكل الممكن حدوثه في خط الأنابيب ، وهو ينتج من ذوبان بعض الشوائب الحمضية في الماء لتعطى محلولاً حمضياً يؤثر على الصلب المصنوعة منه هذه الانابيب .

ومن الممكن التغلب على هذه المشاكل بالتحكم في سرعة تيار الماء واندفاعه داخل الأنابيب ، وكذلك ببناء أنابيب ذات تركيب داخلي مدروس ، وبإضافة بعض مانعات التآكل إلى تيار الماء .

ونقل الفحم بالانابيب رخيص التكاليف ، وهو يقل كثيرا عن تكلفة النقل بالسكك الحديدية ، فدفع معلق الفحم في الماء في الانابيب بسرعة ١,٣٥ متر في الثانية يحتاج الى طاقة صغيرة تبلغ نحو ١٪ الطاقة اللازمة لنقله بالسكك الحديدية ، ولكن ذلك ينطبق فقط على نقل الفحم لمسافات طويلة وبكميات كبيرة ، اما عندما يكون المطلوب نقله من الفحم لايزيد على ٥ ملايين طن في العام ، وتكون مسافة نقلة نحو ٢٠٠ كيلومتر ، فان تكاليف نقله بالانابيب تتساوى مع تكاليف نقله بالسكك الحديدية .



شكل ١ - ١ نقل الفحم بالانابيب

وعادة ماتلحق بخط الانابيب محطات ضخ مساعدة كل ١٥٠ كيلومترا على وجه التقريب ، وذلك لمنع ترسيب الفحم في الانابيب . ويمكن فصل الفحم عن الماء بفواصل اعصاري واستعمال الفحم في ادارة محطة للكهرباء مثلا واستعمال الماء في تبريد التربينات أو غيرها من الآلات .

وأحدى المشاكل الرئيسية في عملية نقل الفحم بالانابيب هي كيفية الحصول على ذلك القدر الكبير من الماء اللازم لدفع الفحم في الخطوط ، خاصة وأن أغلب مناجم الفحم تقع في أماكن منعزلة وقد لا يتوفر بها مثل هذا القدر الكبير من الماء .

وربما كانت أهم العقبات التي تعترض عمليات نقل الفحم بواسطة الانابيب ، هي تلك المعارضة القوية التي تبديها شركات السكك الحديدية ، فهذه

الخطوط تمثل منافسة شديدة لهذه الشركات ، خاصة وأن أغلب الفحم ينقل في العالم بواسطة السكك الحديدية ، ومن أمثلة ذلك أن نحو ٦٦٪ من الفحم المستخرج كل عام في الولايات المتحدة ، ينقل بواسطة السكك الحديدية ، ويمثل هذا الفحم نحو ٣٠٪ من مجموع البضائع التي تنقلها السكك الحديدية كل عام . ولاشك أن ضياع مثل هذا الحجم من البضائع من شركات السكك الحديدية يمثل خسارة فادحة قد لا تتحملها بعض هذه الشركات .

## استخدامات الفحم

يستعمل الفحم كمصدر للطاقة في كثير من الصناعات ، وفي محطات القوى التي تولد الكهرباء .

ولا يحتاج تخزين الفحم الى أماكن خاصة ، فهو يخزن عادة في الهواء الطلق في أماكن مكشوفة ، كما يحدث في بعض المصانع التي يحتاج العمل فيها الى تجميع قدر كبير منه ، مثل محطات القوى أو مصانع الحديد والصلب ، أو مصانع الكوك ، وذلك لأن أنواع الفحم الجيدة مثل الفحم البتيوميني ، أو فحم الانتراسيت ، لا تتأثر كثيرا بالعوامل الجوية المتغيرة ، وتقاوم فعل الرطوبة والهواء .

أما أنواع الفحم الأخرى مثل الفحم تحت البتيوميني ، أو فحم اللجنيت ، وهي أنواع أقل تقحما ، فيفضل تخزينها في صوامع أو مخازن خاصة ، لأنها تتحلل سريعا عند تركها معرضة للجو لمدة طويلة .

وتبلغ القيمة الحرارية للفحم نحو ٢٨ مليون جول لكل كيلوجرام منه ، ولكن هذه القيمة تختلف من نوع لآخر من أنواع الفحم التي سبق ذكرها .

ولا تستخدم كتل الفحم فقط كمصدر للحرارة والطاقة ، ولكن يمكن استخدام فتات الفحم والفحم المجروش في هذا الغرض ، وقد يستعاض بها عن بعض أنواع الوقود السائل مثل المازوت ، وذلك بدفعها بتيار من الهواء في مجارى بعض الافران .

ومن الممكن استخدام تراب الفحم بنفس هذا الاسلوب السابق ، كما يمكن ضغط هذا التراب مع قليل من البتيومين أو القار لتحويله الى أقراص أو قوالب متماسكة ، يمكن استخدامها بدلا من كتل الفحم متوسطة الحجم .

ويلقى الفحم كثيرا من المنافسة من بعض مصادر الطاقة الأخرى ، خاصة

من زيت البترول والغاز الطبيعي ، وهو يلقي مثل هذه المنافسة حديثا من بعض مصادر الطاقة الاخرى ، مثل الطاقة النووية وطاقة الشمس .

وقد أثرت هذه المنافسة كثيرا على صناعة الفحم ، ولذلك فقد قوبلت مثل هذه المنافسة من القائمين على صناعة الفحم بكثير من المقاومة ، فنشطت البحوث والدراسات التي تهدف الى تحسين وتطوير طرق استخدام الفحم في عمليات التدفئة والتسخين ، وكذلك في ادارة الآلات .

وقد قدمت بعض الافكار الجديدة في مثل هذه المجالات ، ولكن أغلب تلك الافكار والمحاولات لم تلق النجاح المطلوب .

وحتى قاطرات السكك الحديدية ، وهي التي كانت تعتبر من أكبر مستهلكي الفحم ، استغنت عن الفحم ، وتوقفت عن استخدامه في قاطراتها ، وابتكرت قاطرات حديثة تعمل بزيوت البترول ، ولم تنجح المحاولات التي بذلت لابتكار تربينات غازية تستخدم الفحم المسحوق ، في إقناع رجال السكك الحديدية باستخدامها .

ومع كل ذلك ، فمازال الفحم من أهم مصادر الطاقة المستخدمة في محطات توليد الكهرباء .

وهناك بعض محطات القوى التي تستعمل المازوت في إدارة آلاتها ، ولكن أغلب مثل هذه المحطات ، على مستوى العالم ، ما زالت تستخدم الفحم لتوليد الكهرباء ، وقد ساعد ذلك كثيرا على تحسين وضع الفحم بين مصادر الطاقة الاخرى .

ويرى البعض أن حل مشكلة الفحم قد يكون في تحويله إلى وقود غازي أو وقود سائل بطريقة أو بأخرى ، حتى يستطيع أن يصمد لمنافسة الغاز الطبيعي وزيت البترول .

وقد بدأت بعض البحوث والدراسات التي تتخذ هذا الاتجاه منذ عام ١٩٦٠ في كل من أوروبا وأمريكا ، وقد توصلت بعض هذه البحوث إلى نتائج جيدة ، ومن المنتظر أن تكمل هذه الدراسات بالنجاح في السنوات القليلة القادمة وتؤدي إلى تحويل الفحم إلى وقود غازي بطريقة إقتصادية .

## فحم الكوك

يحضر فحم الكوك بتسخين الفحم الحجري ، أو الفحم البتيوميني لدرجة حرارة عالية بمعزل عن الهواء .

وقد كانت هذه العملية تجرى قديما في مجموعة من الأفران سميت بخلايا النحل ، لمشابهتها لهذه الخلايا ، وكانت الأبخرة والغازات الناتجة من تسخين الفحم لاتعرف لها فائدة ، ولذلك كانت تترك لتتصاعد في الهواء باعتبارها غازات عادمة لاقيمة لها .

وقد تبين فيما بعد أن هذه الغازات والأبخرة ذات قيمة اقتصادية كبيرة ، وأنه يمكن استخدامها في كثير من الأغراض ، ولذلك طورت عملية تسخين الفحم في غياب الهواء ، لتصبح أكثر كفاءة ، ويحيث يمكن جمع هذه الأبخرة والغازات وتكثيفها لاستخدامها فيما بعد في إنتاج كثير من المواد الكيميائية المطلوبة للصناعة .

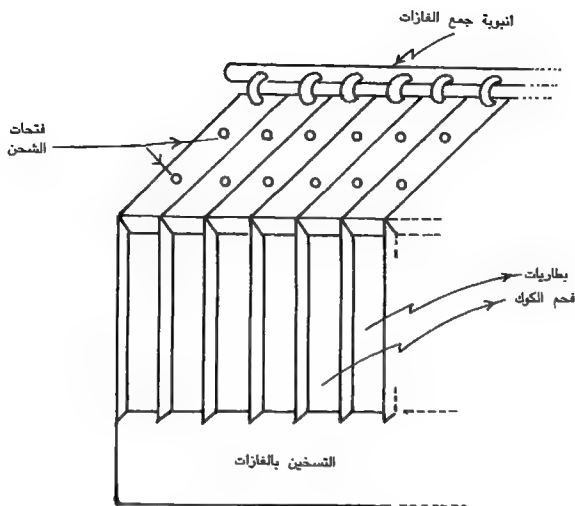
وتعرف عملية تسخين الفحم لدرجة حرارة عالية بمعزل عن الهواء باسم « عملية التقطير الإتلافي » ، ولا يتأكسد الفحم في هذه الطريقة لانعزاله عن الهواء وما به من أكسجين ، ولكن تبدأ المواد المتطايرة الموجودة بالفحم في التصاعد على هيئة أبخرة وغازات ، وعندما ينتهي تصاعد هذه الأبخرة ، لايتبقى من الفحم إلا ما به من كربون ثابت وبعض الشوائب المعدنية التي كانت موجودة أصلا فيه . وهذا المتبقى الذي تقل فيه نسبة المواد المتطايرة يعرف باسم فحم الكوك .

وتتلخص الطريقة المستخدمة حاليا لتحضير فحم الكوك ، في تسخين الفحم الحجري في مجموعة متلاصقة من الأفران تعرف باسم « البطاريات » ، وقد يصل عدد هذه الأفران المتلاصقة إلى نحو ٩٠ فرنا في بعض الأحيان .

وتشحن الأفران في هذه البطاريات من فتحات خاصة في قممها ، ثم تقفل هذه الأفران بإحكام ، وتسخن جدرانها بالغازات الساخنة الناتجة من حرق الوقود حتى تصل درجة الحرارة إلى نحو ١٠٠٠°م .

ويتم جمع الغازات والأبخرة الناتجة من هذه العملية عن طريق أنابيب خاصة في قمة هذه الأفران ، ثم تكثف وتجمع لاستعمالها فيما بعد .

وعند انتهاء عملية التسخين ، أي عندما ينقطع تصاعد المواد المتطايرة من الفحم ، تفتح هذه الأفران ، ويدفع فحم الكوك الساخن المتبقى إلى عربات خاصة تشبه عربات السكة الحديد ، وتحمل هذه العربات الفحم المتوجه الى برج خاص يعرف باسم برج التبريد ، وهناك يرش هذا الفحم الساخن بالماء لتبريده في الحال حتى لايتأكسد في الهواء .



شكل ١ - ٢ بطاريات فحم الكوك

ولفحم الكوك استعمالاته الخاصة ، فهو يستخدم في عمليات استخلاص بعض الفلزات من خاماتها ، كما في صناعة الحديد والصلب ، ومن المعروف أن إنتاج طن من الصلب يحتاج إلى استعمال طن من فحم الكوك على وجه التقريب . كذلك قد يستخدم فحم الكوك في بعض الصناعات الأخرى مثل صناعة كربيد الكالسيوم .



## تحويل الفحم إلى صور أخرى

### تحويل الفحم إلى وقود غازى :

تعتبر طرق تحويل الفحم إلى وقود غازى متعدد الأغراض من أهم طرق تحويل الفحم الى صور أخرى يسهل استعمالها كمصدر للطاقة ، فيمكن نقل هذه الغازات من مكان لآخر عن طريق خطوط الأنابيب عبر مسافات طويلة بطريقة اقتصادية ، واستخدامها في كثير من الأغراض .

وعادة ما يستعمل لهذا الغرض بعض أنواع الفحم غير الجيدة ، مثل تلك الأنواع التى لا تصلح لصنع فحم الكوك ، أو بعض أنواع الفحم الأخرى التى تحتوى على قدر كبير من الشوائب المعدنية ، والتى تترك وراءها عند حرقها ، نسبة عالية من الرماد تفسد الأفران .

### الغاز المنتج : “ Producer Gas ”

يتكون الغاز المنتج عند إمرار تيار من الهواء المحمل بقدر صغير من بخار الماء فوق الفحم المسخن لدرجة حرارة عالية .

ويحتوى الغاز المنتج على نحو ٥٠٪ من وزنه من غاز النتروجين ، كما يحتوى على كل من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون .

ونظرا لاحتواء الغاز المنتج على قدر كبير من غاز النتروجين ، وهو الغاز الموجود أصلا بالهواء ، فإن القيمة الحرارية للغاز المنتج تكون منخفضة نسبيا لأن غاز النتروجين لا يقبل الاشتعال .

ويستعمل الغاز المنتج في بعض العمليات الصناعية ، خاصة في تسخين بطاريات فحم الكوك .

### غاز الماء : “ Water Gas ”

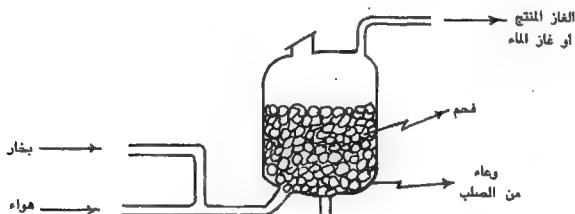
يعرف هذا الغاز أحيانا باسم « الغاز الأزرق » “ Blue Gas ” لأنه يشتعل بلهب أزرق .

ويتكون غاز الماء عند إمرار تيار من بخار الماء فوق الساخن ، أى البخار المسخن لدرجة تزيد على ١٥٠°م ، فى خلال الفحم الساخن لدرجة حرارة عالية تزيد على ١٢٠٠°م .

وتتم هذه العملية بنظام معين ، فيمرر أولا تيار من الهواء فى الفحم الساخن حتى تصل درجة حرارته الى الحد المطلوب ، ثم يمرر بعد ذلك تيار من بخار الماء فى خلال هذا الفحم .

ونظرا لأن التفاعل بين الفحم وبين بخار الماء تفاعل ماص للحرارة ، فإن إمرار البخار على الفحم يؤدي إلى خفض درجة حرارة الفحم بسرعة ، ولذلك يعاد إمرار تيار من الهواء فى طبقات الفحم حتى ترتفع درجة حرارته إلى الحد المطلوب .

وتتكرر هذه العملية باستمرار ، فيمرر تيار من الهواء ، ثم تيار من البخار فى طبقات الفحم الساخن بالتبادل كل ٤ - ٦ دقائق .



شكل ١ - ٣ تحويل الفحم الى الغاز المنتج او غاز الماء

ويتكون غاز الماء من خليط من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون وكليهما يقبل الاشتعال ، ولذلك فإن القيمة الحرارية لغاز الماء تزيد على القيمة الحرارية للغاز المنتج بحوالى الضعف . ويحتوى غاز الماء على نسبة صغيرة من غاز ثانى أكسيد الكربون .



وبالرغم من ارتفاع القيمة الحرارية لغاز الماء ، فإنها لا تكفى للاستعمال فى كل الأغراض ، ولذلك يتم إثراء هذا الغاز فى بعض الأحيان بإضافة بعض ابخرة

المقطرات الخفيفة للبترول ، أو قليل من الغاز الطبيعي اليه ، لرفع قيمته الحرارية ، ويعرف هذا الخليط باسم « غاز الماء الهيدروكربوني » ، « Carbu-rated Water Gas » ، وهو يستعمل في بعض المدن الاوربية في عمليات التدفئة والتسخين في المنازل .

### تغويز الفحم في باطن الأرض "Under ground Gasification"

تتلخص هذه الطريقة في تحويل الفحم الى غاز وهو في باطن الأرض دون الحاجة الى استخراجه بطرق التعدين المعروفة .

وتوفر هذه الطريقة كثيرا من التكاليف ، فهي تتخلص تماما من تكاليف استخراج الفحم من باطن الأرض ، كما أنها توفر تكاليف نقله الى مراكز التصنيع المختلفة .

وأول من فكر في تحويل الفحم الى غاز بهذا الاسلوب كان « سير وليم سيمنز » ، "Sir William Siemens" عام ١٨٦٨ ، ولكن لم يتم تجربة هذه الطريقة عمليا الا في عام ١٩١٢ .

وتتضمن هذه الطريقة حفر آبار مائلة تصل بين سطح الأرض وبين رواسب الفحم ، ثم يشعل الفحم ويدفع الهواء في أنابيب الى هذه الرواسب ، ويعود مرة اخرى الى سطح الأرض عن طريق أنابيب اخرى ، حاملا معه غازات الفحم التي تدفع بعد ذلك لاستخدامها في ادارة الآلات .

وقد كانت هذه الفكرة محل بحث في الاتحاد السوفيتي منذ عام ١٩٤٠ ، وتوجد حاليا آبار من هذا النوع تعمل بنجاح في الاتحاد السوفيتي أحدها في اوزبكستان ، ويستخدم فيها الغاز الناتج في ادارة محطة للكهرباء .

وقد دفع الحظر الذي فرض على البترول عام ١٩٧٣ ، الولايات المتحدة الى إقامة مشروع لتغويز الفحم تحت الأرض في ولاية وايومنغ ، حيث توجد طبقة من الفحم تحت البتيوميني على عمق كبير مما يجعل استخراجه على درجة من الصعوبة .

وقد تم بذلك الاستفادة بنحو ٤٢٠٠ طن من هذا الفحم في خلال ثلاثة أشهر في عام ١٩٧٥ ، وتم تحويلها الى غاز قيمته الحرارية نحو ١٥٦٠ كيلو كالورى للمتر المكعب .

وتفيد هذه الطريقة كثيرا في استغلال رواسب الفحم التي قد توجد على عمق

كبير ، أو توجد هذه الرواسب تحت صخور صلبة ، أو يكون حجمها غير اقتصادى  
أو من النوع متوسط الجودة ، فتكون تكاليف استخراجها من باطن الأرض أكثر  
بكثير من قيمتها الاقتصادية .

كذلك تعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق لاستغلال رواسب الفحم التى قد  
تقع تحت بعض المناطق السكنية أو المزدحمة بالسكان ولا يمكن الحفر فيها ، أو  
تقع تحت مياه البحر ، كما فى المنطقة الواقعة تحت بحر الشمال بين إنجلترا  
وفرنسا .

وهناك بعض الصعوبات التى يجب التغلب عليها قبل استخدام هذه الطريقة  
على نطاق واسع وبكفاءة عالية .

ومن أمثلة هذه الصعوبات انه تبين أن القيمة الحرارية للغازات الناتجة فى  
هذه العملية تكون مرتفعة فى أول الأمر ، ولكنها تنخفض تدريجيا بمرور الزمن .

كذلك يتطلب الأمر ضرورة الحفر بدقة كبيرة للوصول الى رواسب الفحم ،  
مع الاهتمام بمنع تسرب الغازات من موقع الحفر أو من خطوط الأنابيب ، وضرورة  
اختيار رواسب الفحم المتصلة والتى لا تتخللها فواصل نتيجة لحدوث صدوع حتى  
يمكن نجاح عملية التفويض .

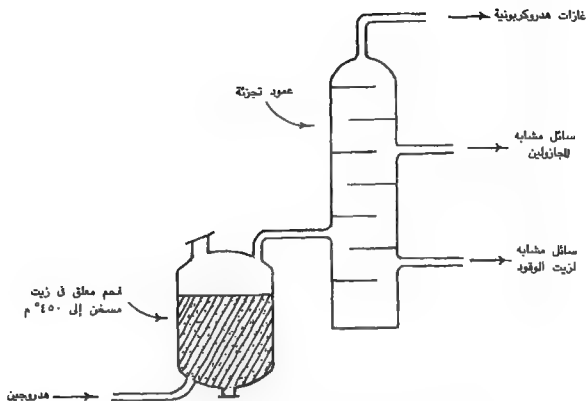
### تحويل الفحم الى وقود سائل

قدم العالم الالماني برجويس عام ١٩٣٠ ، فكرة تحويل الفحم الى زيت  
بتسخينه مع غاز الهدروجين تحت ضغط مناسب .

وقد نشأت هذه الفكرة عند هذا العالم عندما لاحظ أن نسبة الهدروجين الى  
الكربون فى الفحم تصل الى نحو ١ : ١٦ ، على حين ترتفع هذه النسبة فى زيت  
البتترول الى الضعف تقريبا ، فتصل الى نحو ١ : ٨ .

وقد تصور برجويس أنه إذا عومل الفحم بالهدروجين فى ظروف مناسبة ،  
فانه يمكن أن يتحول الى مايشبه زيت البترول ، ونجح فى اجراء هذا التحول فى  
المعمل .

وتعرف هذه الطريقة حاليا باسم « طريقة برجويس للهدرجة » Bergius  
"Hydrogenation Process" ، وهى تتضمن خلط مسحوق الفحم ببعض الزيوت  
الثقيلة ، ثم يضاف الى هذا الخليط حافز مثل أحد أملاح القصدير ، ويمرر فيه تيار  
من غاز الهدروجين تحت ضغط معلوم وعند درجة حرارة نحو ٤٥٠° م .



شكل ١ - ٤ طريقة برجيسوس لتحويل الفحم الى سائل يشبه البترول

وينتج من هذه العملية سائل ثقيل يتم تجزئته الى عدة مقطرات بعضها يشبه الجازولين ويشبه بعضها الآخر زيت الوقود .

وينتج من هذه الطريقة كذلك بعض الغازات الهيدروكربونية ، وبعض المواد العضوية الاخرى مثل البنزين والاتيلين والنفثالين ، وهي تعتبر مواد أولية ، وتدخل في تحضير كثير من الادوية والأصبغ وما الى ذلك .

وهناك طريقة اخرى استخدمت في تحويل الفحم الى وقود سائل وهي تعرف باسم « طريقة فيشر - تروپش » "Fischer - Tropsch Process" ، وقد استحدثت هذه الطريقة عندما أعلنت شركة « باسف » الالمانية "BASF" انها توصلت الى طريقة جديدة يتم فيها تحويل خليط من غازى اول اكسيد الكربون والهيدوجين الى بعض السوائل الهيدروكربونية وبعض مشتقاتها الاكسجينية .

وقد قام العالم الالمانى « فرانز فيشر » ، وزميله « هانز تروپش » عام ١٩١٤ بدراسة هذه الطريقة دراسة مستفيضة ، وتمكنا معا من ابتكار طريقة لتحويل الفحم الى وقود سائل اطلق عليه اسم « سنثول » "Synthol" ، وهى اختصار يدل على كلمتى الزيت المخلق ، وهو يتكون من خليط من عدة هيدروكربونات وبعض الكحولات والكيوتونات وما اليها .

ويتلخص طريقة فيشر-تروپش في امرار خليط من البخار فوق الساخن وغاز الاكسجين فوق مسحوق الفحم الساخن ، فيتحول الفحم الى غاز الماء كما رأينا من قبل ، وهو يتكون من خليط من غازى الهيدروجين وأول اكسيد الكربون ، ثم يمرر هذا الخليط الغازى بعد ذلك فوق عامل مساعد فيتحول الى سائل يشبه زيت البترول .

وقد اقيمت تسعة مصانع في ألمانيا في اثناء الحرب العالمية الثانية ( ١٩٣٩ - ١٩٤٥ ) لانتاج السنتول ، واستطاعت هذه المصانع ان تعوض نقص البترول في ألمانيا فانتجت نحو نصف مليون طن من الزيت المخلق .

وقد تمكن الالمان بهذه الطريقة من انتاج ٢٠٠,٠٠٠ طن من وقود السيارات و ١٠٠,٠٠٠ طن من زيت الديزل ، و ٢٠,٠٠٠ طن من زيوت التشحيم ، و ٢٠٠٠ طن من الكحولات ، و ٥٠,٠٠٠ طن من المنظفات الصناعية ، ونحو ٤٠,٠٠٠ طن من الاحماض الدهنية ، ٣٠,٠٠٠ طن من الشموع .

وقد تبين أن نواتج هذه الطريقة تختلف اختلافا بينا باختلاف الحافز المستعمل وأمكن بذلك تحضير عدد من المركبات العضوية متنوعة التركيب .

وربما كانت احدى النتائج الهامة لطريقة فيشر-تروپش هي امكانية تحويل الفحم الى نوع من الدهون التى تصلح للاستعمال في الغذاء .

وقد استطاع الالمان اثناء الحرب أكسدة أنواع من الشموع الناتجة في العملية السابقة ، الى احماض دهنية ، ثم قاموا بتحويل هذه الاحماض الى دهون باتحادها مع الجليسرين ، وصنعوا منها أصنافا من الدهن الصناعى مثل المرجرين الذى استعمل في الطهو وفي تحضير الغذاء ، كما استعملوا جزءا من هذه الدهون في تحضير الصابون .

## الفحم مصدرا للكيمائيات

يعتبر الفحم أحد المصادر الهامة لانتاج كثير من المواد الكيميائية الهامة التى نعرفها في حياتنا اليوم .

ولا تستخرج هذه المواد العضوية من الفحم مباشرة ، ولكنها تنتج من الابخرة والغازات التى تتصاعد في اثناء تسخين الفحم بمعزل عن الهواء عند صناعة فحم الكوك .

ويتم فصل الابخرة المتصاعدة في عملية التقطير الاتلاقي للفحم التى سبق

ذكرها ، الى عدة مكونات ، أهمها الغازات التي تعرف باسم غاز الفحم ، والسائل المائي المحتوى على النشادر ، ويعرف باسم السائل النشادرى ، ثم السائل الأسود الكثيف المعروف بقطران الفحم .

وغاز الفحم عبارة عن خليط من عدة غازات أهمها الميثان والهيدروجين وبعض المركبات الاولييفينية الغازية ، بالإضافة الى قدر من غاز النتروجين وثنائى اكسيد الكربون .

ويتساعد قدر كبير من هذا الغاز أثناء التقطير الاتلاالى للفحم ، فيعطى لمن الفحم الحجرى الجاف مايزيد على ٣٠٠ متر مكعب من هذا الخليط .

ويستعمل غاز الفحم وقودا فى بعض الأحيان ، فقيمتة الحرارية لا بأس بها ، وقد يستخدم كذلك ، فى تحضير بعض المواد الهامة فى الصناعة .

اما السائل النشادرى فهو عبارة عن محلول للنشادر فى الماء ، وهو يفصل عن قطران الفحم ، ثم يعادل مائه من نشادر بواسطة حمض الكبريتيك لتكوين مركب كبريتات النشادر التى تستعمل فى اخصاب التربة الزراعية وزيادة محتواها من النتروجين .

اما السائل الأسود الكثيف الذى يعرف باسم قطران الفحم ، فهو يعتبر من أهم نواتج عملية التقطير الاتلاالى للفحم ، وهو يمثل نحو ٣ - ٥,٥ ٪ من وزن الفحم الاصلى ، وهو يتصف برائحته المميزة ، ويحتوى على عديد من المواد العضوية الهامة .

ويتم تقطير هذا القطران فى أوان من الحديد ، ويفصل الى عدة أجزاء رئيسية تعرف بأسماء خاصة مثل الزيت الخفيف ، والزيت المتوسط ، والزيت الثقيل ، والزيت الأخضر .

ويجمع الزيت الخفيف بين درجتى الحرارة ٧٠ - ١٧٠ °م ، وهو يحتوى على خليط من البنزين والطولوين والزايلين .

اما الزيت المتوسط ، فيجمع بين درجتى حرارة ١٧٠ - ٢٢٠ °م ، وهو يتكون أساسا من مادة الفينول ، وهى المادة التى تدخل فى تكوين السائل المطهر المعروف باسم « الفينيك » ، ولذلك يسمى هذا الزيت فى بعض الأحيان بـزيت الكربوليك .

ويجمع الزيت الثقيل بين درجتى حرارة ٢٢٠ - ٢٧٠ °م ، وهو يحتوى على قدر كبير من النفثالين بالإضافة الى بعض الفينولات الأخرى .

ويحتوى الزيت الاخضر على مادة الانثراسين ، ولذلك فهو يسمى ايضا بزيت الانثراسين ، ولكنه يحتوى كذلك على قدر صغير من بعض المواد العضوية الاخرى مثل الفئانثرين والكربازول وغيرهما .

ويتبقى من عملية التقطير الاتلاقى للفحم مادة سوداء شبه جامدة تعرف بالقالقار ، وهى تستخدم فى أعمال الرصف وأعمال العزل ، كما انها قد تخلط بفتات الفحم وتضغط على هيئة قوالب صغيرة لاستعمالها وقودا فى الافران .

والمواد الناتجة من تقطير قطران الفحم ذات فائدة كبيرة ، فهى تستخدم فى تصنيع كثير من المركبات العضوية الهامة التى نستخدمها كل يوم ، فيستعمل النفثالين مثلا فى تحضير مركب انهريد الفثاليك الذى يستخدم كمادة أولية فى تصنيع كثير من الأصباغ وبعض أنواع الراتنجات الصناعية .

كذلك يستعمل الطلولوين فى انتاج المادة شديدة الانفجار التى نعرفها باسم ت . ن . ت ( TNT ) ، كما يستعمل فى تحضير مادة السكرين التى يستخدمها بعض مرضى السكر فى تحلية الطعام والمشروبات ، وفى تحضير بعض المواد المطهرة مثل كلورامين - ت .

كذلك يستعمل الانثراسين فى صنع بعض أنواع الأصباغ ، ويستعمل الفينول فى تحضير حمض البكريك وغيره من المركبات .

ويصفة عامة فان المواد الناتجة من قطران الفحم تعتبر اليوم مواد أساسية فى كثير من الصناعات الكيميائية ، فيتم تحويلها الى عشرات ومئات من المواد الاخرى النافعة مثل العطور والأدوية والأصباغ والمواد الحافظة والمبيدات الحشرية ومبيدات الاعشاب واللدائن وغيرها من المواد .

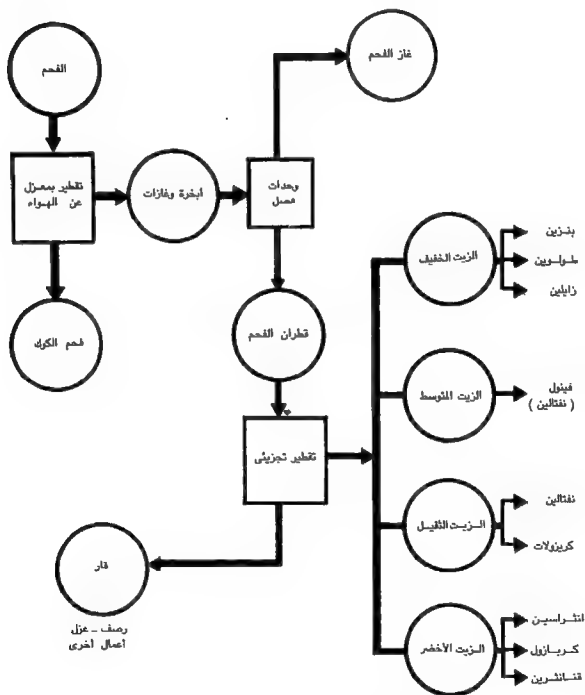
ويتضح مما سبق أنه بجانب أهمية الفحم كمصدر أساسى من مصادر الطاقة ، فهو يعتبر كذلك مصدرا هاما لكثير من المواد الكيميائية التى تعتمد عليها صناعاتنا الكيميائية اليوم .

ويعتقد بعض العلماء أن أهم مناجم الفحم الموجودة بباطن الارض قد تم اكتشافها ، وتقدر هذه الرواسب بنحو ١٠ ملايين طن ، ويقع أغلبها فى النصف الشمالى من الكرة الارضية ، ويقع نصفها على وجه التقريب فى آسيا .

ولا يعرف أحد الى متى سيستمر استعمال الفحم فى انتاج الطاقة على المستوى الدولى ، ولاشك ان ذلك سيعتمد بالدرجة الاولى على السرعة التى ستسفل بها كميات الفحم الموجودة بباطن الارض ، ويعتمد كذلك على اكتشاف بعض المصادر الجديدة للطاقة التى يمكن استغلالها اقتصاديا .



## نواتج التقطير الإتلاقي للفحم



شكل ١ - ٥ نواتج التقطير الإتلاقي للفحم

## البترول

يعتبر زيت البترول من أهم مصادر الطاقة في هذا العصر ، بل هو يعتبر بحق من مقومات حضارتنا الحديثة ، ولهذا يطلق عليه أحيانا اسم « الذهب الاسود » تشبيها له بالذهب في قيمته وأهميته .

وتستخدم المجتمعات الحديثة البترول في كل شأن من شئونها ، فهي تستخدمه وقودا في صناعاتها المختلفة ، وتستخدم مقطراته في تسيير وسائل النقل الحديثة ، مثل السيارات والسفن والطائرات ، كما تستعمله مصدرا للطاقة في قطاع الزراعة وفي عمليات التدفئة وفي توليد الكهرباء .

كذلك تصنع منه ومن بعض منتجاته الثانوية ، عشرات من المواد الكيميائية الهامة التي تستخدم بدورها في صناعة الراتنجات الصناعية واللدائن والأصباغ والادوية ، وفي غيرها من الأغراض .

وقد عرف الانسان زيت البترول منذ قديم الزمان ، فقد وجده الانسان منتشرا على سطح الارض في بعض البقاع على هيئة برك صغيرة ممثلة بسائل أسود كثيف ، كما وجده في بعض الاحيان على هيئة طبقة رقيقة عائمة على سطح الماء في بعض البحيرات أو على ماء البحر أمام بعض الشواطئ .

وقد عرف الفرس زيت البترول منذ زمن بعيد يرجع الى نحو ٦٠٠٠ عام مضت ، واستخدموه في بعض الأغراض ، فاستعملوا الزيت الثقيل وما ينتج عنه من أسفلت في تثبيت أحجار المباني والمعابد وأسوار المدن .

وقد وصف المؤرخ الاغريقي هيرودوت ، الذي عاش في القرن الخامس قبل الميلاد ، هذا الزيت الذي استعمله أهل فارس ، بأنه كان أسود اللون كريه الرائحة ، وأنهم كانوا يحصلون عليه مختلطا بالماء من بعض الآبار العميقة .

ويبدو أن منطقة الشرق الأوسط ، ونحن نعرف اليوم أنها منطقة غنية بالبترول ، كان بأرضها بعض الشقوق التي خرج منها هذا الزيت الأسود بصورة طبيعية ، وربما كان هذا الزيت المتصاعد من هذه الشقوق ، وما يصاحبه عادة من

غاز ، هما الأصل في نار المجوس الخالدة ، والتي يقال عنها أنها لم تطفأ أبداً ، ويبدو أن بخار هذا الزيت ، أو الغاز المتصاعد معه ، قد اشتعل بمحض الصدفة وامسكت به النيران ، فاعتبره أهل قارس من المجوس نارا مقدسة ، وقاموا بعبادتها وقدموا لها القرابين .

وقد استخدم الفرس زيت البترول الذي وجدوه طبيعياً على سطح الأرض ، في كثير من الأغراض ، ويقال انهم استعملوه في الحرب ، فكانوا يبللون رؤوس السهام بهذا الزيت ويشعلونها ، ثم يقذفون بها صفوف الاعداء .

ويحدثنا الرحالة البندقي الشهير «ماركوبولو» "Marco Polo" عندما قام برحلته المشهورة الى الصين في نهاية القرن الثالث عشر ، ومرت طريقه بمنطقة باكو التي تقع على بحر قزوين ، بأنه رأى في هذه المنطقة زيتاً أسود يندفع من شقوق في باطن الأرض على هيئة نافورة .

وقد وصف ماركوبولو كميات الزيت الضخمة التي تندفع الى الهواء بأنها تكفي لشحن مائة سفينة في كل دفعة .

كذلك وصف ماركوبولو هذا الزيت بأنه كريه الرائحة ولا يصلح للاستخدام في تحضير الطعام ، ولكنه يشتعل بصورة جيدة ، وقال إن بعض الناس في هذه المناطق يستعملون هذا الزيت لدهان الجلد ، كما يستعمله البعض الآخر في علاج بعض الأمراض الجلدية التي تصيب الجمال .

وقد صارت منطقة باكوفيا بعد ، من أغنى حقول البترول في العالم ، وهي تتبع الاتحاد السوفيتي اليوم .

وقد ذكر أوائل المستكشفين لقارة أمريكا الشمالية ، انهم وجدوا هذا الزيت الأسود هناك ، يخرج طبيعياً من شقوق في سطح الأرض ليكون بركاً ضحلة كريهة الرائحة ، كما وجد بعضهم هذا الزيت طافياً على سطح الماء على هيئة طبقة رقيقة في بعض الخلجان .

وقد كان سكان هذه المناطق من الهنود الحمر ، يستخدمون هذا الزيت في دهان جلودهم اعتقاداً منهم بأنه يقوى عضلاتهم ، ويزيد من طاقتهم ونشاطهم .

وعندما نزل الأوروبيون في الجزء الشرقي من الولايات المتحدة ، وأقاموا بها ، بدأوا في استعمال هذا الزيت في مختلف الأغراض ، وكانوا يستخرجونه من الأرض بطريقة بدائية ، فكانوا يبللون بعض قطع القماش بهذا الزيت ، ثم يقومون بعصرها وجمع الزيت المتساقط منها ، كما كانوا يقومون بكشط طبقة الزيت الرقيقة التي تطفو فوق سطح الماء .

ونظرا لقلة كميات الزيت التي يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة البدائية ، فقد كانت أسعاره مرتفعة ، وكان يستخدم فقط في العلاج الطبي ، وكان الباعة الجائلون يبيعونه للناس تحت أسماء مختلفة ، وكان يطلق عليه احيانا اسم « الزيت الهندي » .

وكان من المعتقد في ذلك الحين أن هذا الزيت الأسود يمكن أن يكون دواء شافيا لكل الامراض ، فكان يدهن به جلد المريض للعلاج من الام الروماتيزم ، كما كان يؤخذ على هيئة جرعات عن طريق الفم لعلاج بعض انواع اخرى من الامراض .

وقد تم اكتشاف أول بئر للبترول في الولايات المتحدة عام ١٨٠٦ عندما كان بعض الافراد يقومون بالحفر بحثا عن الماء في ولاية فرجينيا .

وقد فوجئ هؤلاء الافراد بأن الماء المستخرج من باطن الأرض يوجد مختلطا بقليل من الزيت ، وكانوا يضيفون كثيرا بهذا الزيت الأسود ، فقد كانوا لا يعرفون له فائدة ، بالاضافة الى أنه يسبب تلوث ما يستخرجونه من ماء .

ولم يكن الناس في ذلك الزمان يعرفون الوقود السائل ، وكانوا لا يعرفون إلا بعض أنواع من الوقود الصلب مثل الفحم والخشب ، ولكن احدى التجارب التي قام بها رجل يدعى « ابراهام جزنر » "Abraham Gesner" عام ١٨٤٦ لفتت الانتظار الى الاحتمالات الكبيرة لبعض أنواع الوقود السائل ، فقد تمكن هذا الرجل من الحصول على زيت قابل للاشتعال بتقطير الفحم ، وأطلق عليه اسم « كيروسين » ، "Kerosene" ، وهي كلمة مشتقة من اللغة الاغريقية "Keros" وتعنى الشمع .

وقد تكونت بعد ذلك شركة خاصة لانتاج هذا السائل من الفحم واستغلاله وقودا في بعض العمليات الصناعية .

ونظرا لأن زيت البترول سائل قابل للاشتعال ، فقد اتجهت اليه الانتظار لاستعماله كوقود أسوة بسائل الكيروسين ، خاصة وأن بعض علماء جامعة ييل في الولايات المتحدة ، قاموا بتجارب على زيت البترول اثبتت أن الطاقة الناتجة من اشتعال البترول تعادل الطاقة الناتجة من اشتعال كيروسين الفحم .

وقد أدت النتائج الهامة لهذه التجارب التي أجريت عام ١٨٥٥ ، الى زيادة الطلب على زيت البترول ، وبدأ اصحاب الآبار التي كان الزيت فيها يختلط بالماء يجدون فائدة لهذا الزيت ، وقاموا بفصل الزيت عن الماء لبيعه في الاسواق .

وكانت الآبار التي يمتزج فيها الماء بالزيت ، يقع أغلبها حول مدينة

« تيتوس فيل » "Titusville" بولاية بنسلفانيا بالولايات المتحدة ، وقد دفع ذلك بعض الأفراد وبعض رجال الأعمال الى حفر آبار خاصة لاستخراج البترول في هذه المنطقة ، وتم حفر أول بئر لهذا الغرض عام ١٨٥٩ وكان ذلك بمثابة مولد صناعة البترول .

وكان عمق هذه الآبار في أول الأمر لا يزيد على عشرين مترا في أغلب الاحوال ، وبلغ انتاج الولايات المتحدة من زيت البترول عام ١٨٦٠ نحو ٢٠٠٠ برميل ، وهو رقم كان يعتبر كبيرا في ذلك الحين ، ولكنه اليوم لا يعتبر شيئا مذكورا إذا قورن بما يستخرج في بعض البلدان ، والذي قد يبلغ عدة ملايين من البراميل في اليوم الواحد .

## اصل البترول وتركيبه

زيت البترول سائل اسود كثيف سريع الاشتعال ، وهو يتكون من خليط من المركبات العضوية التي تتكون أساسا من عنصرى الكربون والهيدروجين وتعرف باسم الهيدروكربونات .

وتبلغ نسبة الهيدروكربونات في بعض أنواع البترول نحو ٥٠٪ من تركيبه الكلى ، وقد تصل في بعض الأنواع الأخرى الى ٩٨٪ ، ويحتوى زيت البترول كذلك على بعض المواد العضوية الأخرى التي تحتوى جزيئاتها على الأكسجين والنتروجين والفوسفور والكبريت .

ولا تعرف على وجه التحديد الطريقة التي تكون بها زيت البترول في باطن الأرض ، ولكن هناك عدة نظريات تتناول الطريقة التي نشأ بها ذلك السائل الهام .

ويتلخص احدى هذه النظريات في أن البترول قد تكون نتيجة لتعرض بعض الرواسب من كربيدات الفلزات الموجودة بباطن الأرض الى فعل بخار الماء ، ومن المعروف ان مثل هذا التفاعل يعطى في المعمل خليطا من الهيدروكربونات .

وتفترض هذه النظرية ان مثل هذا التفاعل قد أعطى في باطن الأرض مثل هذه الهيدروكربونات التي كونت فيما بينها سائلا يشبه البترول في صفاته وخواصه .

ويقلل من أهمية هذه النظرية عدة عوامل ، أهمها أن أحدا لم يعثر على مثل هذا الرواسب من الكربيدات ، بينما طبقا لهذه النظرية لابد وأن يتوفر قدر بالغ الضخامة من هذه الكربيدات حتى تستطيع أن تنتج هذا الكم الهائل من البترول

المختزن في باطن الأرض ، ومن المحتم لو كانت هذه النظرية صحيحة أن يتبقى جزء من هذه الرواسب دون تغيير بعيدا عن الماء .

كذلك يعرف علماء الجيولوجيا أن مثل هذه الكربيدات ، أن وجدت ، فلا بد وأن تتكون في ثنانيا الصخور البركانية ، لانها تحتاج الى حرارة مرتفعة لتكوينها ، ويترتب على ذلك أن البترول الناتج من تفاعلها مع بخار الماء لابد أن تقع مكانه في ثنانيا هذه الصخور البركانية ، وهو ما يخالف الواقع تماما ، لأن البترول لا يوجد في باطن الأرض إلا في ثنانيا الصخور الرسوبية .

والنظرية السائدة الآن ، والتي تلقى قبولا لدى كافة العلماء ، هي تلك النظرية التي تفترض ان زيت البترول قد نشأ نتيجة لتحلل البقايا النباتية والحيوانية تحت ظروف قاسية من الضغط والحرارة .

وتفترض هذه النظرية أن قدرا هائلا من بقايا الكائنات الحية قد تجمع ورسب في قيعان البحار والمحيطات ، وبمرور الزمن ازداد سمك هذه الطبقات واختلطت برمال القاع وبيعض الرواسب المعدنية الاخرى .

وعندما تحركت القشرة الارضية في العصور الجيولوجية القديمة ، تعرضت هذه الطبقات لضغوط هائلة وارتفعت حرارتها الى حدود عالية بتأثير حرارة باطن الأرض ، وقد نتج عن ذلك ان تحولت الرواسب المعدنية والرمال الى طبقات من الصخور الرسوبية ، بينما تحولت البقايا العضوية المختلطة بها الى مواد هيدروكربونية تكون منها زيت البترول والغاز الطبيعي .

ولا تعرف بدقة الطريقة التي تحولت بها المواد العضوية الى زيت البترول ، ولكن بعض العلماء يعتقدون أن جزءا من المواد الهيدروكربونية الموجودة أصلا بخلايا الكائنات الحية قد بقى كما هو تحت هذه الظروف ، بينما تحللت بقية المركبات الاخرى الموجودة بهذه الخلايا ، وان هذا الجزء المتبقى من المواد الهيدروكربونية هو الذى يكون زيت البترول .

ويعتقد علماء آخرون أن البكتريا تلعب دورا هاما في هذا التحول ، فهي تقوم بانتزاع الاكسجين والكبريت والنيتروجين من المركبات العضوية الموجودة بخلايا هذه الكائنات ، وتحولها بذلك الى مركبات هيدروكربونية مشابهة للبترول .

ولا توجد هناك مبررات لتفضيل احدى هاتين النظريتين على الاخرى ، ويبدو أن كلا منهما قد لعب دورا هاما في تحول المواد العضوية الموجودة بخلايا الكائنات الحية الى زيت البترول .

ويعزز النظرية التي تتنادى بأن البترول قد نشأ من بقايا الكائنات الحية ، ان

زيت البترول يحتوى عادة على بعض المركبات العضوية التى يدخل فى تركيبها بعض العناصر الأخرى غير الكربون ، مثل الفوسفور والكبريت والنروجين ، وهى عناصر لا توجد فى كبريدات الفلزات ، ولكنها توجد عادة ضمن مكونات الخلية فى الكائنات الحية .

كذلك يوجد البترول دائما فى ثنايا الصخور الرسوبية ، وهى صخور توجد دائما فى قيعان البحار ، كما أن البترول يقترن وجوده دائما بوجود الماء الملح ، وعادة ماتوجد أهم آبار البترول إما على شواطئ البحار ، وإما قريبا منها ، كما توجد بعض هذه الآبار فى داخل مياه البحار كما فى خليج السويس وفى بحر الشمال وغيرها .

وعلى الرغم من استقرار هذه النظرية الأخيرة فى أذهان كثير من علماء الجيولوجيا والنفط ، فإن هناك عددا قليلا من العلماء ما زالوا يفترضون أن الهيدروكربونات التى تكونت باتحاد الكربون بغاز الهيدروجين قد تكونت فى الزمن السحيق أثناء الفترة التى تكونت فيها الأرض ، وأنها اندثرت فى باطنها ، وأن بعض هذه الهيدروكربونات مازال يتسرب من باطن الأرض الى القشرة الأرضية ليتجمع فى بعض الطبقات المسامية ، ويظهر على هيئة زيت البترول والغاز الطبيعى .

وتتعارض هذه النظرية تماما مع النظرية السابقة التى تفترض نشوء الهيدروكربونات المكونة للنفط من أصل بيولوجى ، وذلك لأنها تفترض أن مثل هذه الهيدروكربونات قد نشأت من أصل غير بيولوجى ، بالاتحاد المباشر بين الكربون والهيدروجين .

وينتشر العلماء الذين يعتقدون بصحة هذه النظرية فى كل من السويد والولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى . وقد قامت شركة للطاقة تملكها الحكومة السويدية عام ١٩٨٦ بالحفر فى منطقة « سيلجان » ، وهى أراضى تتكون من الصخور الجرانيتية البارزة والغابات الكثيفة .

ويتم الحفر فى هذه المنطقة فى درع جرانيتية فائقة القدم لا ينتظر أن تحتوى على أية صخور رسوبية مسامية يستطيع النفط أن يتجمع فيها ، ولكن القاشمين بالحفر يعتقدون أنه منذ ٣٦٠ مليون عام على وجه التقريب ، اصطدم أحد النيازك الضخمة بأرض السويد ، وتسبب فى سحق الصخور الجرانيتية المكونة لهذه المنطقة ، وحول الصخور الموجودة فى أعماق هذه المنطقة إلى فئات يشبه الحصى يصلح أن يكون مكمنا يتجمع فيه الغاز الطبيعى والنفط المتصاعدان من باطن الأرض .

ولو أن نظرية تكون الهيدروكربونات من أصل غير بيولوجي صحيحة ، فإن كلا من النفط والغاز المتصاعدين من باطن الأرض سيجدان في هذا الفتات الصخري ممكنا جيدا ، وهذا هو ما يبحث عنه القائمون بالبحث والحفر في هذه المنطقة ، ويتوقعون وجوده عند الوصول الى هذه الطبقات .

وتقوم هذه الشركة السويدية بمحاولة الوصول بالحفر الى عمق نحو ٥٠٠٠ متر في جوف الأرض للتحقق من هذه النظرية .

وهناك فريق آخر من العلماء في الاتحاد السوفيتي الذين يعتقدون في صحة هذه النظرية ، وقد بدأ هذا الفريق حفر أعمق بئر في العالم قد يصل عمقها الى نحو خمسة عشر كيلومترا للبحث عن منشأ كل من النفط والغاز ، ويتم هذا الحفر حاليا في الدرع الجرانيتية بشبه جزيرة « كولا » شمال الدائرة القطبية ، وهي لا تبعد كثيرا عن منطقة « سيلجان » التابعة للسويد .

ويبدو أن العلماء السوفييت قد وجدوا عند هذا العمق مناطق مسامية تتوزع فيها الغازات والسوائل ، وكان من المتصور من قبل ان هذا شيء مستحيل حتى على عمق خمسة كيلومترات من الجرانيت ، لأن ثقل الصخور عند هذا العمق كفيلا يسحق كل الفراغات والطبقات المسامية .

وأول من نادى بهذه النظرية الجديدة عالم فيزيقي فلكي يعمل بجامعة كورنيل في ايتاكا بولاية نيويورك بالولايات المتحدة ، ويدعى « توماس جولد » .

ويرى « جولد » أن وجود المواد الهيدروكربونية لا يستلزم دائما وجود كائنات حية ، ففي بعض الكواكب الخارجية للمجموعة الشمسية مثل المشترى وزحل وأورانوس ونبتون توجد بعض هذه الهيدروكربونات مثل الميثان في أجوائها بنسبة عالية ، وحتى التابع المسمى « تيتان » ، وهو تابع لكوكب زحل ، يحتوى جوه على كل من الميثان والاثيلين ، على الرغم من عدم وجود كائنات حية على مثل هذه الكواكب والتوابع .

ويرى هذا العالم كذلك ، ان اكتشاف كميات كبيرة من الغاز الطبيعي ذائبة في المياه المالحة في أعماق خليج المكسيك ، وفي مياه الخليج العربي ، يعد دليلا على أن مثل هذه الغازات الهيدروكربونية قد تسربت الى المياه من باطن الأرض .

وقد قام « جولد » بنشر أول بحث من سلسلة بحوثه عام ١٩٧٩ ، ونادى فيها بأن معظم المواد الهيدروكربونية الموجودة على سطح الأرض وفي باطنها ، وكذلك على الكواكب الاخرى ، قد تكونت من مصادر غير بيولوجية .

وهو يرى كذلك ان عنصر الكربون الموجود ببعض الكواكب حديثة التكوين



قد يكون بعض المركبات التي لا يدخل في تركيبها الاكسجين اى انه يكون في حالة غير متأكسدة ، فيتحد بالهدروجين لتكوين مركبات هيدروكربونية مثل الميثان الذي يتكون من ذرة واحدة من الكربون متحدة بأربع ذرات من الهدروجين ويرمز له بالرمز ك يد .

وعلى الرغم من أن بعض هذه الهدروكربونات قد تكون في الزمن القديم على سطح الأرض ، إلا أن ما اندثر منها في باطن الأرض تعرض للحرارة المرتفعة لباطن الأرض ، وبدأ في التسرب تدريجيا الى القشرة الارضية ليتجمع في الطبقات المسامية والمكامن الطبيعية .

وقد بقيت جزيئات الهدروكربونات الكبيرة على حالها دون تحلل رغم الحرارة العالية ، بسبب الضغط الهائل في باطن الأرض ، ولكن عند صعود هذه الهدروكربونات خلال شقوق القشرة الأرضية ، يخف الضغط الواقع عليها ، ويتفكك جزء منها الى الغاز الطبيعي ، ويبقى الجزء الآخر على هيئة النفط .

ونحن نعرف هذه الظاهرة في المعامل ، فعند تعرض بعض جزيئات الهدروكربونات للحرارة العالية ، تتكسر هذه الجزيئات وتتحول الى جزيئات صغيرة ، ثم تتحول في نهاية الامر الى غاز الميثان ويتحول جزء منها الى عنصر الكربون .

ولو أن نظرية تكون الهدروكربونات من اصل غير بيولوجى صحيحة ، لكان معنى ذلك ان الارض قد تحتوى في باطنها على مصدر لاينضب من الغاز والنفط ، وقد تكون هناك مخازن ضخمة منها في اماكن لم يخطر ببال أحد ان يحفر فيها ، وقد يعنى هذا أن كل دولة من الدول قد تجد في أراضيها ما تحتاجه من غاز ونفط ، وتصبح افقر الدول من اغناها ، ولا تصبح هناك حاجة ملحة لاستخدام الطاقة الشمسية ، أو الطاقة النووية أو غيرها .

والنظرية السائدة حاليا لتكوين المركبات الكربونية تنص على أن اكثر مركبات عنصر الكربون التي نعرفها إنما جاءت عن طريق غاز ثانى اكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئى للنباتات .

وتتلخص عملية التمثيل الضوئى في ان النباتات تمتص ثانى اكسيد الكربون من الهواء وتمتص الماء من سطح التربة ، ثم تحولهما معا في وجود الكلوروفيل وضوء الشمس الى المواد العضوية التي نعرفها مثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات ، وهى المواد التي تتحلل ، بعد طمرها في التربة بعد موت الكائنات الحية ، الى هيدروكربونات تكون النفط .

اما النظرية التي نحن بصددھا ، فهي تقتضی أن المواد الهيدروكربونية قد تكونت في بادئ الامر ، وأن ظهور ثاني اكسيد الكربون إنما جاء نتيجة لتأكسد هذه الهيدروكربونات ومنها الميثان الى ثاني اكسيد الكربون بواسطة اكسجين الهواء .

وقد اجتذبت هذه النظرية عددا غير قليل من العلماء ، فقد تبني معهد بحوث الغاز في شيكاغو بولاية إلينوى في الولايات المتحدة بعض البحوث المتعلقة بهذا الموضوع ، وخصص لذلك نحو مليوني دولار سنويا .

ويعترض بعض علماء الجيولوجيا على هذه النظرية الجديدة ، فهم يرون ان الميثان لا يوجد في باطن الأرض ، ويستدلون على ذلك بأن ما يتصاعد من باطن الأرض عن طريق البراكين هو غاز ثاني اكسيد الكربون فقط ، واستنتجوا من ذلك ان معظم كربون الأرض قد تحول الى ثاني اكسيد الكربون ، ولكن من الممكن أن يرد على ذلك بأن معظم غاز الميثان المتصاعد من باطن الأرض عن طريق البراكين قد يتأكسد في أثناء صعوده مع الحمم البركانية ، ويتحول الى ثاني اكسيد الكربون ، خاصة وان هذه الحمم تحتوي على قدر كاف من الاكسجين ، وبذلك لا يمكن الاستدلال من ظاهرة البراكين على نوع الغاز المتصاعد اصلا من باطن الأرض .

ومن الممكن ان يتصاعد غاز الميثان دون أن يتأكسد عن طريق الصدوع والشقوق الباردة عند اطراف القارات ، ومن الممكن كذلك ان يتم احتباس بعض هذه الهيدروكربونات تحت غطاء من الصخر أو ان يذهب بعضها الآخر الى خزانات النفط الناتجة من تحول بعض المواد البيولوجية وبذلك يعزز ما بها من نطف .

ويرى مؤيدو النظرية الجديدة ان النفط والغاز الطبيعي يوجدان دائما عند إلتقاء فالق عميق في قشرة الأرض مع حوض رسوبي يوفر المكمن المناسب .

وهم يرون ان معظم نفط الشرق الأوسط يوجد على امتداد الصفائح القارية حيث تشد وتدفع الصفائح العربية والافريقية والاسيوية بعضها البعض ، كما ان احتياطيات الهيدروكربونات الغنية توجد بطول خط زلزالي وبراكني نشيط يمتد من غينيا الجديدة مارا باندونيسيا وبورما والصين ، عابر للجبال والوديان والمحيطات ، وتتجمع في صخور رسوبية ذات تاريخ جيولوجي مختلف .

وتوجد كذلك المناطق الغنية بالنفط في الولايات المتحدة في حزام الضغط بجبال « روكي » ، حيث دُفعت شريحة من القشرة الارضية لتعسل شريحة اخرى ، وتوجد كذلك في المناطق المجاورة لفالق « سانت أندرياس » بولاية

كاليفورنيا ، وفي مناطق وسط القارة التي تعلو الصدوع القديمة كما في اوكلاهوما وتكساس .

ومن المعتقد ان نظرية تصاعد الهيدروكربونات من باطن الأرض الى القشرة الأرضية قد يفسر السبب في تراكم كثير من احتياطيات النفط والغاز في مناطق تقع بعضها فوق بعض ، في داخل صخور مسامية ذات اعمار جيولوجية مختلفة تمام الاختلاف .

كذلك يمكن لنظرية صعود الهيدروكربونات من أسفل الى أعلى أن تفسر السبب في تراكم كميات هائلة من هذه الهيدروكربونات في مكان واحد او في شريحة ضيقة من قشرة الأرض .

ففي منطقة الشرق الأوسط مثلا يوجد نحو ٢٥ حقلا ضخما من حقول النفط ، تحتوى على نحو ٦٠٪ من احتياطيات النفط المقدرة .

ويقدم علماء جيولوجيا النفط تفسيراً لهذه الظاهرة التي تتراكم فيها حقول ومكامن البترول في حيز ضيق ، بان منطقة الخليج العربي وجبال ايران ووادي دجلة كانت للملايين السنين غورا ضخما يمتلئ بالحياة النباتية ، ثم تراكمت فوقها طبقات من الصخور الصماء التي شكلت غطاء ضخما حفظ النفط الناتج منها .

ويرى المعارضون ان هذا الفرض لا يكفي لتفسير هذا الاحتياطي الهائل من النفط الموجود بهذه المنطقة ، فليس من المعقول أن تكون هذه المنطقة الصغيرة ، والتي لاتزيد مساحتها على ١٪ من سطح الأرض ، غنية بهذا الشكل الهائل بالحياة النباتية التي تستطيع انتاج كل هذه الكميات الهائلة من النفط .

والأرجح ان يكون تراكم مثل هذه الكميات الهائلة من النفط قد جاء من أصل غير بيولوجي ، نتيجة لتصاعد الهيدروكربونات من شقوق في اعماق قشرة الأرض .

ويشير البعض الى أن كثيرا من نفط الشرق الأوسط يكاد يتشابه في تكوينه الكيميائي رغم اختلاف الصخور والتكوينات الحاملة له ، ولايمكن تفسير ذلك الا بنظرية صعود الهيدروكربونات من باطن الأرض .

وفي واقع الامر فإن النفط والغاز يرتبطان بشكل ملحوظ بالمناطق المعرضة للزلازل ، مما يوحي بأن الصدوع العميقة يمكن ان تعتبر طريقا لتسرب الغاز غير البيولوجي الاصل من أسفل الى أعلى .

ويفسر صعود بعض هذه الهيدروكربونات مثل الميثان كثيرا من الظواهر

المصاحبة للزلازل ، مثل ارتفاع مياه الآبار وفورانها ، والسلوك الغريب لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل ، فاعلم الحيوانات لها قوة شم كبيرة وقد تستطيع شم رائحة مثل هذه الغازات ، فتشعر بشيء من الدوار وتبدأ في الهروب من المنطقة .

وقد قام الدكتور « هارمون كريج » ، من مؤسسة « سكريبس للدراسات الاقياوسية » عام ١٩٧٩ ، بالنزول الى قاع المحيط الهادى فى غواصة خاصة ، وقام بجمع عينات من الغاز المنبعث من قاع المحيط فى موضع يعرف بمنبع شرق المحيط الهادى ، وهو موضع تتدفق منه الغازات والحمم الملتهبة ، واكتشف وجود غاز الميثان ضمن هذه الغازات ، ومن الطبيعى أن مثل هذا الموقع فى اعماق المحيط تنعدم فيه تماما الرسوبيات البيولوجية من أى نوع ، ولاشك ان هذا يعزى الى حد ما نظرية صعود الهيدروكربونات من باطن الارض .

ومازال الامر سجالا بين مؤيدى نظرية النشوء البيولوجى للهيدروكربونات ، ومؤيدى نظرية نشوء النفط والغاز الطبيعى من اصول غير عضوية .

## وجود البترول

يوجد البترول فى بعض المناطق على هيئة برك صغيرة فوق سطح الارض ، وذلك نتيجة لتسرب الزيت من باطن الأرض عن طريق بعض الصدوع أو الشقوق الصغيرة فى قشرة الأرض .

وعادة ماتكون هذه البرك البترولية ضحلة ، فلا تبقى على حالها ، فسرعان ما تتبخر منها أغلب المواد الطيارة بتأثير حرارة الشمس ، وتحول هذه البرك بمرور الوقت الى مسطحات مغطاة بالقار والأسفلت ، ويساعد على ذلك بعض تفاعلات الأكسدة التى تحدث بين بعض مكوناتها وبين أكسجين الهواء فى وجود اشعة الشمس .

وفى المراحل الأولى لتحول زيت هذه البرك الى اسفلت ، يكون هناك قدر صغير من المواد المتطايرة التى لم تتبخر بعد ، ولذلك فان الاسفلت يكون لزجا الى حد كبير ويعمل كمصيدة رهيبة لكل مايقع فيه .

وقد وجدت فى بعض مناطق الولايات المتحدة حفريات يتجمع بها عدد كبير من هياكل الديناصورات وبعض الحيوانات الأخرى . ويبدو ان هذه المقبرة الجماعية كانت أصلا إحدى برك الاسفلت على اللزوجة ثم وقعت بها بعض هذه الحيوانات فى عصور ما قبل التاريخ ، ولم يستطع أى من هذه الحيوانات ان يفلت

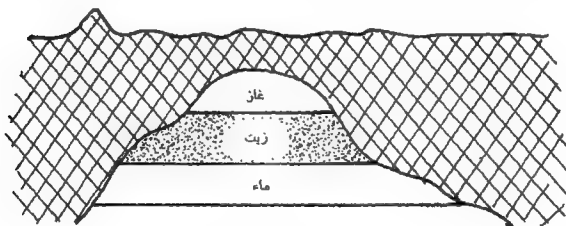
من مصيره المحتوم ، وبقيت هياكل هذه الحيوانات محفوظة كما هي في هذا الاسفلت .

وعندما تفقد بركة الاسفلت كل ما بها من مواد متطايرة ، يتحول سطح البركة الى طبقة جامدة صلبة مثل ارضية الطرق التى تسير عليها .

وهذه البرك البترولية التى تتكون بنز الزيت ، نادرة الوجود ، فاغلب مانحصل عليه من زيت البترول يأتى من باطن الأرض .

ويتجمع البترول تحت سطح الأرض في طبقات الصخور المسامية مثل الصخور الجيرية أو الحجر الرمل ، وعندما تحيط الصخور الصلدة غير المسامية بهذه الطبقات ، يمتنع تسرب الزيت منها ويتكون مايعرف بالمكمن ، ويبقى الزيت مخزوناً فيه حتى يتم الوصول اليه بحفر الآبار .

وعادة مايجتمع في هذه المكامن كل من زيت البترول والماء المالح والغاز الطبيعى ، وتتكون منها جميعاً طبقات ثلاث ، فالغاز الطبيعى يكون الطبقة العليا ، على حين يتجمع الماء على هيئة طبقة سفلى ، ويقع الزيت بينهما في الطبقة الوسطى .



شكل ١-٢ مكمن زيت البترول

ويذوب جزء من هذا الغاز في طبقة الزيت تحت ضغط المكمن ، وعندما يبلغ الزيت سطح الأرض ، تتمدد الغازات الذائبة في الزيت ، ويزداد حجمها كثيراً ، وقد يبلغ حجمها عند فوهة البئر نحو مائتى مرة قدر حجم الزيت نفسه .

وعند حفر بئر للوصول الى مكمن زيت البترول في باطن الأرض ، فإن ضغط الغاز الموجود بالمكمن وضغط الغاز الذائب في الزيت ، يدفع الزيت من فوهة البئر

بعنف شديد على هيئة نافورة قد يصل ارتفاعها الى عشرات الامتار فوق سطح الارض .

وعندما يكون ضغط المكنم عاليا ، فان الزيت قد يندفع كذلك الى سطح الارض بتأثير ضغط الماء المصاحب له .

ويمثل اندفاع زيت البترول من فوهة الآبار بهذا العنف الشديد صعوبة كبيرة بالنسبة لمهندسي البترول ، وقد يتسبب ذلك، في فقد كميات ضخمة من البترول من بعض الآبار .

وقد تم ابتكار بعض الطرق الحديثة للسيطرة على الضغط الداخلي للبئر ومنع حدوث هذا الفوران .

## استخراج زيت البترول من باطن الأرض

يستخرج معظم البترول المستخدم عالميا اليوم من باطن الأرض بحفر آبار خاصة تصل الى مكامته التي يخترن فيها .

وتتكلف عملية الحفر كثيرا من المال في أغلب الأحوال ، ويعتمد ذلك على العمق الذي يصل اليه الحفر وعلى طبيعة الصخور التي يحفر فيها البئر ، وقد تصل تكلفة البئر الواحدة في بعض الحالات الى عدة ملايين من الدولارات .

ونظرا لارتفاع تكاليف حفر الآبار ، فإن الأمر يتطلب دائما اجراء بعض عمليات الاستكشاف والتنقيب قبل البدء في عملية الحفر ، وذلك للاستدلال على احتمالات وجود البترول في باطن الارض .

ونتيجة للطلب المتزايد اليوم على منتجات البترول بأنواعها المختلفة ، فقد قامت شركات البترول العالمية بدراسة كثير من المناطق التي يحتمل وجود البترول فيها على مستوى العالم ، بما فيها من مناطق مغمورة بمياه البحار ، أو مغطاة بالجليد .

وقد تم تصنيف هذه المناطق طبقا لطبيعتها ولاحتمالات وجود البترول فيها ، وامكانية استخراجه منها بطريقة اقتصادية ، واستخدمت في هذه العمليات الخاصة بالتنقيب والاستكشاف كثير من الوسائل العلمية الحديثة ، فاستعملت فيها اجهزة قياس المجال المغنطيسي ، واجهزة قياس جاذبية الارض وطرق التصوير الجوى الى غير ذلك من الاجهزة والطرق المستحدثة .

وقد امكن باستخدام اجهزة قياس الجاذبية الارضية ، وهي اجهزة فائقة

الحساسية ، تعيين طبيعة الصخور الموجودة بباطن الأرض في منطقة من المناطق ، فالجاذبية الأرضية تزداد عند وجود صخور ثقيلة وتقل عند وجود صخور خفيفة ، او عند وجود الصخور الثقيلة في باطن الأرض على بعد كبير من السطح ، وقد امكن بهذه الاجهزة اكتشاف بعض الفراغات او المصائد المحتوية على البترول .

كذلك استعملت اجهزة رصد الزلازل المعروفة باسم « سيسموجراف » "Seismograph" في اكتشاف بعض مكامن الزيت ، ففتجر عيوبه ناسفة في مكان مناسب ، ثم تقاس سرعة انتقال الذبذبات المنعكسة من الصخور في كل اتجاه ، ومنها تعرف انواع الصخور الموجودة بباطن الأرض في هذه المنطقة ، وتحديد انسب المواقع لحفر الآبار .

وهناك طرق اخرى للتأكد من وجود الطبقات الحاملة للزيت في اثناء الحفر ، ويستخدم التيار الكهربائي في احدى هذه الطرق ، ويتم ذلك بانزال جهاز صغير في جوف البئر ، يرسل تيارا كهربائيا في الطبقات الصخرية المحيطة بالبئر ثم تسجل مقاومة هذه الصخور للتيار ، وتحلل النتائج ، ومنها يتحدد اتجاه الحفر وعمق البئر .

وعلى الرغم من استخدام كل هذه الوسائل العلمية الحديثة للتأكد من وجود الزيت في منطقة من المناطق ، فلا يزال هناك عدد كبير من عمليات حفر الآبار التي لاتؤدي الى نتائج ايجابية ، ولا شك انه كلما زادت نسبة الفشل في الوصول الى مكامن الزيت ، زادت تكلفة الحفر في هذا الحقل .

## طرق حفر الآبار

كانت الطرق المستخدمة في حفر آبار البترول في اول الامر ، طرق بدائية لاتصلح الا لحفر آبار سطحية محدودة العمق .

وكانت اولى الطرق المستخدمة في هذا المجال تعرف باسم « الحفر بالدق » وفيها تربط لقمة حفر ثقيلة بحبل غليظ من السلك المجدول ، ثم ترفع هذه اللقمة الى اعلى ويترك لتسقط وترتطم بالصخر .

ويتكرر هذه العملية يبدأ الصخر في التفتت ، ويزداد عمق الحفر حتى تصل البئر الى العمق المطلوب .

وقد استخدمت هذه الطريقة فيما مضى في حفر كثير من الآبار ، إما لاستخراج الماء أو لاستخراج البترول ، ثم بطل استخدامها عام ١٩٢٠ عندما استبدلت بطريقة « الحفر الدائري » .

وتتلخص طريقة الحفر الدائرى ، وهى الطريقة المستخدمة حاليا فى كل حقول البترول ، فى اقامة منصة حول منطقة الحفر ، يركب عليها برج خاص يستخدم فى عملية الحفر وفى انزال الانابيب فى جوف البئر ، وقد يصل ارتفاع هذا البرج ، الذى يعرف باسم برج الحفر ، الى عشرين مترا فوق سطح الأرض .

وتستخدم فى هذه الطريقة لقمة حفر متصلة بانبوبة مجوفة تدور حول نفسها بواسطة آلة خاصة ، فتدور معها لقمة الحفر وتبدأ فى اختراق الصخور اثناء دورانها ، وتشبه هذه العملية مايقوم به المثقاب الذى يستعمله النجار لثقب الخشب .

وهناك انواع متعددة من لقم الحفر ، وهى تصنع من الصلب شديد الصلابة ، وعادة ماتكون هذه اللقم مجوفة من الداخل ، وبها اسنان حادة فى اطرافها ، وهى تختلف فى اشكالها تبعا لاختلاف انواع الصخور المراد حفرها ، وقد توضع فى اطرافها قطع صغيرة من الماس لزيادة قدرتها على اختراق الصخور .

ويزداد عمق البئر تدريجيا بتقدم عملية الحفر ، ويتم انزال انابيب جديدة من برج الحفر كلما زاد عمق البئر حتى يتم الوصول الى مكن الزيت .

ويستخدم فى حفر آبار البترول سائل لزج القوام يعرف باسم طينة الحفر ، وتتكون هذه الطينة من انواع خاصة من الطفل دقيق الحبيبات التى اضيفت اليها بعض المواد الكيميائية .

ويدفع تيار من هذه الطينة فى تجويف انبوبة الحفر اثناء دورانها ، وتصل هذه الطينة الى قاع البئر ، ثم تصعد الى سطح الأرض مرة اخرى مارة بين السطح الخارجى لانبوبة الحفر وبين جدران البئر .

وتخدم طينة الحفر عدة اغراض ، فهى تساعد على تبريد لقمة الحفر التى ترتفع درجة حرارتها بشكل كبير اثناء دورانها واحتكاكها بالصخور الصلبة ، كما ان هذه الطينة تحمل معها كثيرا من فئات الصخور الناتجة من الحفر الى سطح الأرض ، بالاضافة الى انها تساعد على تماسك جدران البئر وتمنع انهيارها فى اثناء عملية الحفر .

ولطينة الحفر فائدة اخرى رئيسية ، فعند وصول لقمة الحفر الى مكن الزيت ، تساعد طينة الحفر للزجة على مقاومة ضغط الغازات الموجودة بالمكن ، ويمكن بذلك السيطرة نسبيا على هذه البئر .

وتبطن آبار البترول عادة بمجموعة من الانابيب المصنوعة من الصلب



تتداخل اطرافها بعضها مع بعض وتلتصق بجدار البئر ، وهي تعرف عادة باسم « البطانة » "Cassing".

وعندما ينتهى حفر البئر ، اى عندما تصل البئر الى العمق المطلوب ، تنزل بها انبوبة جديدة من نوع خاص ، لايزيد قطرها على ٥ - ٦ سم ، حتى تصل الى قاع البئر ، ثم يملأ الفراغ الحلقى الذى يفصل بين هذه الانبوبة وبين البطانة السابقة ، بالاسمنت ، فلا يتبقى امام البترول الصاعد من قاع البئر الا ان يمر خلال هذه الانبوبة الى سطح الارض .

وينتهى الطرف العلوى لهذه الانبوبة بمجموعة من الصمامات وعدادات القياس للمساعدة على التحكم فى معدل اندفاع البترول من البئر ، وتتفرع هذه العدادات والصمامات لتشبه الشجرة حتى انه يطلق عليها مجازا اسم « شجرة الكريسماس » "Christmas Tree".

وعندما يكون ضغط الغازات فى مكنن الزيت عاليا ، فان زيت البترول يندفع صاعدا فى البئر وحدة تحت ضغط الغازات المصاحبة له ، ولا يحتاج الامر فى هذه الحالة الى استعمال المضخات لرفعة الى سطح الارض .

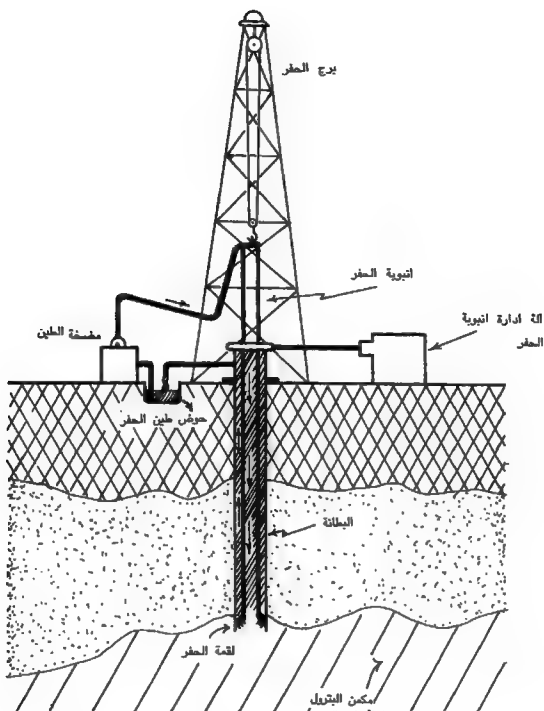
كذلك قد يندفع زيت البترول الى سطح الارض تحت ضغط الماء الموجود بالممكن ، ولاتستعمل المضخات عادة الا عندما يقل الضغط فى قاع البئر ويصبح غير كاف لرفع الزيت الى سطح الارض .

وعندما يقل الضغط فى مكنن الزيت كثيرا ، يتم اللجوء الى طريقة الحقن ، فيعاد ضغط جزء من الغاز المصاحب للزيت فى باطن الارض للمساعدة على رفع ماتبقى من الزيت الى سطح الارض .

وقد يستبدل الغاز بالماء لزيادة ضغط الزيت فى الممكن ، كما ان هناك طريقة اخرى مستحدثة تصلح لاستخراج بقايا الزيت من باطن الارض ، وتستخدم فيها انواع من البوليمرات ذات النشاط السطحى تؤدى الى تحويل بقايا الزيت الى مستحلب مائى يمكن دفعه الى سطح الارض .

ويختلف ضغط قاع البئر عن ضغط فوهتها ، ولذلك نجد أن الغازات الذائبة فى زيت البترول عند قاع البئر تبدأ فى الانفصال عنه عند فوهة البئر ، ولهذا يتم دفع الزيت الخارج من فوهة البئر ، والذى يحتوى على قدر كبير من الغازات الذائبة ، الى اجهزة فصل خاصة يتم فيها فصل هذه الغازات عن الزيت .

وعندما تكون نسبة الغازات المصاحبة للزيت قليلة ، فان هذه الغازات تصبح



شكل ٢-٢ جهاز حفر آبار البترول

قليلة القيمة من الناحية الاقتصادية ، ويتم التخلص منها مباشرة بحرقها في حقل البترول بعد دفعها في انابيب خاصة بعيدا عن آبار البترول .

أما إذا كانت نسبة هذه الغازات مرتفعة ، فإن قيمتها الاقتصادية في هذه الحالة تصبح كبيرة ، ولذلك فهي تجمع وتدفع في خطوط خاصة الى وحدات تقوم بتنقيتها وفصل بعض مكوناتها .

وتعرف هذه الغازات باسم الغاز الطبيعي ، وهي متغيرة التركيب وتختلف

طبيعتها من مكان لآخر ، ولكنها تحتوى على بعض الهيدروكربونات ذات الجزيئات الصغيرة مثل الميثان والايتان والبروبان والبيوتان ، وهى تستعمل وقودا لان القيمة الحرارية لهذه الغازات تفوق كثيرا القيمة الحرارية الناتجة من غاز الفحم الثقيلدى .

وقد يستعمل الغاز الطبيعى فى تصنيع بعض المواد والمنتجات الهامة كما سنرى فيما بعد ، وقد يعاد ضخ جزء من هذا الغاز فى البئر مرة أخرى لرفع ضغط الممكن ودفع الزيت الى سطح الارض .

ويدفع الزيت الخام بعد فصل الغازات منه ، الى صهاريج خاصة تقوم بتجميعه وتخزينه توطئة لنقله الى معامل التكرير او الى الاسواق العالمية .

ويحتوى حقل البترول عادة على عدد كبير من هذه الصهاريج ، وتعرف التجمعات الكبيرة من هذه الصهاريج « بعزرة الصهاريج » "Tank Farm" للدلالة على اعدادها الكبيرة وانتشارها فوق رقعة كبيرة من الارض .

وتختلف سعة هذه الصهاريج من حقل لآخر ، فهى قد تتسع لعدة مئات من البراميل او لعدة آلاف من البراميل ، وذلك تبعا لكميات البترول المنتجة من آبار الحقل ، وقد تصل سعة بعض هذه الصهاريج الضخمة الى نحو ٨٠,٠٠٠ برميل حتى يمكن أن تستقبل حجم البترول الضخم الناتج من حقول البترول الكبيرة التى يحفر بها عدد كبير من الآبار المنتجة .

## نقل البترول

تقع آبار البترول وحقولها فى اغلب الاحوال ، فى اماكن بعيدة عن الاسواق التى تحتاج الى استخدام هذا المنتج ، ولذلك فان عمليات نقل البترول تعتبر من اهم الخطوات فى صناعة البترول .

وقد كان البترول ينقل فيما مضى بواسطة العربات التى تحمل البراميل ، كما كان ينقل عن طريق السكك الحديدية او بالصنادل البحرية ، خاصة عندما تكون حقول البترول ومعامل تكريره متقاربة .

ولكن الحال ليس كذلك على الدوام ، فقد تم فى السنوات الاخيرة اكتشاف حقول جديدة للبترول فى اماكن نائية وبعيدة كل البعد عن المراكز الصناعية التى تستخدم هذا المنتج .

ونظرا لان زيت البترول لا يستخدم على حالته التى يستخرج بها من

الارض ، بل يجب ان يمر بمراحل مختلفة تتضمن فصل بعض مكوناته وتنقيتها ، فان الامر يتطلب ضرورة اقامة تجهيزات خاصة بهذا الشأن تعرف بمعامل التكرير ، وهي تقام عادة بجوار المناطق الصناعية او في اماكن قريبة منها ، ولذلك يجب نقل البترول كذلك من الحقول المنتجة له الى هذه المعامل ، وابتكار وسائل خاصة تستطيع نقل كميات كبيرة ذات حجم اقتصادى .

ويتم نقل البترول عادة فوق سطح الارض لمسافات طويلة بواسطة خطوط انابيب خاصة ، ويتم نقله بين القارات عن طريق البحر بواسطة سفن خاصة تعرف باسم ناقلات البترول ، وفي حالات نادرة يتم نقل زيت البترول بواسطة السكك الحديدية او بواسطة عربات الصحاريج ، خاصة عندما تكون كميات البترول صغيرة الحجم ومسافة النقل قصيرة نسبيا .

ويعتبر النقل بواسطة ناقلات البترول عن طريق البحر من اخص طرق النقل ، ويمكن بواسطتها نقل كميات كبيرة من البترول الخام الى معامل التكرير ونقل مقطرات البترول النقية الى المراكز الصناعية .

وتستخدم حاليا ناقلات هائلة الحجم تقوم بنقل مئات الالوف من الاطنان في المرة الواحدة ، وهي تعرف باسم « الناقلات العملاقة » ، "Supertankers" ويستطيع بعض منها ان ينقل عدة ملايين من براميل البترول في المرة الواحدة .

وعلى الرغم من ان هذه الناقلات العملاقة ضرورية لتوفير احتياجات المراكز الصناعية المختلفة من البترول ، الا ان لها مشاكلها الخاصة ، فكثير من الموانئ الحالية في اغلب الدول ، لا تستطيع استقبالها بسبب حجمها الكبير وعمق غاطسها الذى يزيد على عمق اغلب الموانئ العادية .

كذلك فان عمق غاطس هذه الناقلات يحدد امكانية مرورها في الممرات المائية الضيقة مثل قناة السويس .

وعند وقوع حادث لاحدى هذه الناقلات العملاقة ، فان كمية البترول التى تفقد في ماء البحر تمثل خسارة فادحة تبلغ ملايين الدولارات ، ولذلك فان كل هذه الناقلات العملاقة تجهز بمعدات ملاحية حديثة ومتطورة ، مثل اجهزة الرادار ، واجهزة الاعماق التى تستخدم الموجات الصوتية ، وأنواع حديثة من البوصلات ، واجهزة اخرى متطورة لمنع حدوث الحرائق فيها .

وتسبب بعض هذه الناقلات كذلك بعض المشاكل للبيئة المحيطة بها ، فعند وقوع حادث لها يؤدى الى انسكاب ما بها من بترول الى ماء البحر ، فان هذه الكميات الضخمة من البترول تغطى مساحة هائلة من سطح البحر ، وتلوث مياه

هذه المنطقة وتؤثر تأثيرا سينا على حياة الكائنات الحية الموجودة بها .

كذلك يتلوث هواء هذه المنطقة بأبخرة المواد المتطايرة التى تتصاعد من بقعة الزيت الضخمة ، مما يسبب ضررا شديدا لسكان الشواطىء القريبة من مكان الحادث .

وتستعمل خطوط الانابيب لنقل البترول فوق سطح الارض ، وقد تمتد هذه الخطوط لمسافات طويلة ، وهى تقوم عادة بنقل البترول الخام الى معامل التكرير ، او نقل البترول الخام من حقول البترول إلى موانئ الشحن على شواطىء البحار ، ولكنها تقوم بنقل بعض مقطرات البترول النقية فى بعض الاحيان .

وقد استخدم خط انابيب من هذا النوع فى الولايات المتحدة ، لنقل البترول فى اثناء الحرب العالمية الثانية من حقول تكساس الى نيويورك ، ومازال هذا الخط قائما حتى اليوم ، ولكنه يستعمل الآن فى نقل الغاز الطبيعى .

وهناك كذلك خط انابيب طويل يمتد عبر هضاب الاسكا ، ويبلغ طوله نحو ١٢٠٠ كيلومتر ، وينقل هذا الخط زيت البترول الخام من حقوله فى الشمال الى خليج الاسكا ، ويعبر هذا الخط فى طريقه عدة انهار .

كذلك يوجد خط انابيب طويل آخر فى كندا ، يمتد نحو ٣٠٠٠ من الكيلومترات ، وهو ينقل البترول الخام من البحيرات العظمى الى ولاية ويسكونسن ، كما ان هناك خط انابيب آخر يمتد عبر سيبيريا بالاتحاد السوفيتى ، وخطا آخر جديدا ينشأ حاليا ليمد اوروبا بالغاز الطبيعى ( او البترول ) الوارد من الاتحاد السوفيتى .

وهناك خطوط انابيب اخرى فى منطقة الشرق الاوسط الغنية بالبترول ، ومن امثلتها خط الانابيب الذى يمتد من حقول البترول فى كركوك بالعراق الى طرابلس بلبنان على شاطئ البحر الابيض ، وكذلك خط الانابيب المعروف باسم « قاب لالين » ، الممتد من حقول البترول فى السعودية الى شاطئ البحر الابيض الشرقى ، وخط الانابيب المسمى « سوميد » الممتد من ميناء السويس بجمهورية مصر العربية الى الاسكندرية على شاطئ البحر الابيض المتوسط .

## تكرير البترول

يتكون زيت البترول بصفة عامة من خليط من الهيدروكربونات التى تتكون جزيئاتها من ذرات الكربون والهيدروجين .

ويختلف تركيب زيت البترول من مكان لآخر ، فبعض انواع الزيوت قد يحتوى على سلاسل مستقيمة غير مشبعة من ذرات الكربون تعرف بالاوليفينات ، وقد يحتوى بعضها الآخر على هيدروكربونات حلقة تعرف باسم النافثينات او المواد الاروماتية ، وهى مركبات تترتب ذرات الكربون فى جزيئاتها على هيئة حلقات .

وبعض هذه الزيوت قد يكون برفاينى الاساس ، اى يتكون من سلاسل مشبعة من ذرات الكربون بنسبة عالية قد تصل الى ٧٥٪ ، على حين قد تحتوى بعض الزيوت الاخرى على نسبة عالية من النافثينات الحلقة ، قد تصل الى نحو ٧٠٪ كما فى بعض انواع البترول الروسى .

وتختلف كذلك طبيعة المواد التى تبقى بعد عمليات تقطير الخام من زيت لآخر ، فبعض انواع الزيت الامريكى ينتج من تقطيره متبقى شبه صلب يشبه الشمع ، على حين ان بعض انواع الزيت المكسيكى تترك بعد تقطيرها مادة لزجة بها قدر كبير من القار والبتومين ، وتشبه الاسفلت فى قوامها .

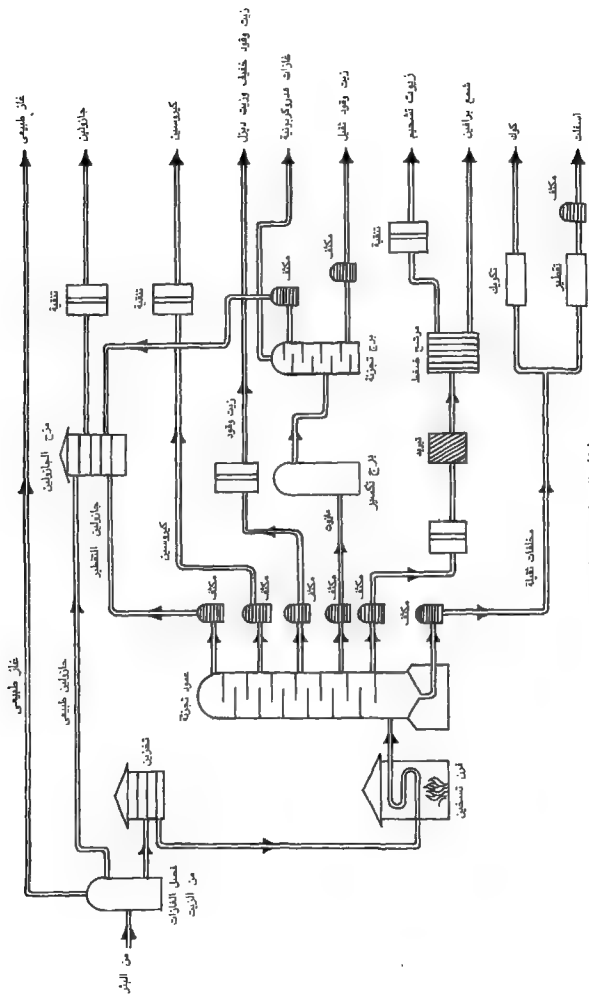
ويتضح مما سبق ان زيت البترول الخام يتكون من خليط من انواع متعددة من الهيدروكربونات التى تختلف كثيرا فى طبيعتها وفى خواصها ، ولهذا لا يمكن تسويق زيت البترول او استخدامه بهيئته الخام التى يستخرج بها من الارض ، بل يجب ان يتم فصله الى بعض مكوناته التى يمكن استخدام كل منها فى غرض من الاغراض .

وتعرف عملية فصل الزيت الخام الى بعض مكوناته بطريقة التقطير كما تعرف طريقة تنقية هذه المكونات من الشوائب باسم عملية التكرير .

وتختلف طريقة تكرير البترول المستعملة اليوم عن الطريقة التى كانت مستخدمة فيما مضى ، ففى السنوات التى سبقت عام ١٩٠٠ ، كانت عملية التكرير تتم على دفعات بطريقة التشغيلات المنفصلة ، فيوضع قدر محدود من الزيت الخام فى اناء التقطير ، ثم يسخن الزيت وتجمع المقطرات الناتجة ، وبعد انتهاء عملية التقطير ، يملا اناء التقطير بدفعة اخرى من الزيت وتكرر العملية .

اما اليوم ، فتجرى عملية تكرير زيت البترول بالطريقة المستمرة حيث يشحن برج التقطير باستمرار بالزيت الساخن وتجمع المقطرات كل على حدة اثناء عملية التقطير المستمرة .

وقد كانت عملية التكرير فيما مضى تتضمن فصل الزيت الخام الى اربعة مقطرات فقط . ولم يكن هناك احتياج فى ذلك الحين الى المقطرات الخفيفة وهى اول ما يتصاعد من ابخرة عند تسخين الزيت الخام ، وذلك لان محركات الاحتراق



الداخلي لم تكن معروفة في ذلك الحين ، فلم تكن هناك سيارات أو طائرات وهي التي تستهلك محركاتها اليوم القدر الأكبر من هذه المقطرات الخفيفة .

وقد نتج عن ذلك ان اعتبرت هذه المقطرات الخفيفة في ذلك الحين ، مقطرات لافائذة منها ، وكانت الكميات التي تتجمع من هذه المقطرات تحير القائمين على عمليات تقطير وتكرير الزيت الخام ، وتمثل مشكلة كبيرة بالنسبة لهم ، فلم يكونوا يعرفون كيف يتخلصون منها ، ولذلك كانوا يعيدونها الى باطن الارض في كثير من الاحيان .

ويكرر الزيت الخام حاليا الى عديد من المنتجات النافعة التي تقوم عليها عشرات من الصناعات الهامة وتمثل القوة المحركة في المصانع وفي وسائل النقل والمواصلات .

وتبدأ عملية التكرير بفصل الزيت الخام الى عدة مكونات تعرف باسم « القطافات » ، ويجمع كل منها عند درجة غليان معينة .

ولايمكن فصل كل هيدروكربون من مكونات الزيت الخام على حدة ، اى في حالته النقية ، وذلك لان كثيرا من هذه المواد الهيدروكربونية تكون درجات غليانها متقاربة الى حد كبير ، مما يصعب معه فصلها بطريقة التقطير ، ولذلك فان عملية التقطير تجرى بطريقة فصل القطافات التي تغلى بين جدين متقاربين ، اى بين ١٠٠ - ١٥٠ °م مثلا ، وبذلك تحتوى كل قطفة على خليط متماثل من الهيدروكربونات التي لا تختلف كثيرا في التركيب .

وتعرف هذه الطريقة التي يقتر فيها الزيت الخام الى قطافات أو أجزاء ، باسم « التقطير التجزيئى » .

وقد كانت المقطرات الوسطى قبل عام ١٩٠٠ ، هي أهم المقطرات التي يتم الحصول عليها بتقطير الزيت الخام ، وعرفت باسم « الكيروسين » أو « البرافين » وكانت تستخدم أساسا في عمليات الانارة .

أما المقطرات الأخرى التي كانت تغلى في درجات أعلى من المقطرات الوسطى ، فكانت تستخدم وقودا في الأفران أو في إنتاج البخار في الغلايات ، ويستعمل مايتبقى من الخام بعد ذلك في عمليات التشحيم .

ويتضح من ذلك أن زيت البترول في ذلك الحين ، كان يستخدم استخداما محدودا ، وهو وضع فرضته ظروف النمو الاقتصادى والتقدم العلمى في ذلك الوقت .



وفي مستهل القرن العشرين بدأ استعمال محركات الاحتراق الداخلي ، وقل الاعتماد على الكيروسين في عمليات الاضاءة بعد استخدام الكهرباء ، ولذلك زاد الطلب كثيرا على المقطرات الخفيفة مثل الجازولين ، وقل الطلب على الكيروسين .

وقد ترتب على زيادة الطلب على الجازولين أن ازداد الطلب على زيت البترول ، وزادت الكميات المستخرجة منه من باطن الأرض ، وقد أدى ذلك الى وجود فائض كبير لدى معامل التكرير وشركات البترول ، من الكيروسين الذي لم تكن هناك حاجة كبيرة اليه .

وقد أدى اختراع الطائرات وابتكار محركات الديزل فيما بعد الى استهلاك قدر كبير من فائض الكيروسين .

وتتم عملية التكرير اليوم في معامل خاصة تعرف باسم معامل التكرير . ويشبه معمل التكرير الحديث غابة من الابراج والخزانات ، وهو يشغل عادة مساحة هائلة تمتد فيها شبكة ضخمة من الانابيب المعلقة في الهواء على حوامل خاصة ، وتصل بين الابراج والصهاريج والافران .

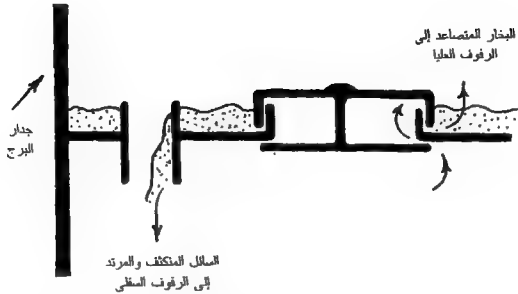
وتنقسم العمليات الاساسية التي تجرى في معمل التكرير الى قسمين رئيسيين ، القسم الاول منها يتضمن عمليات التقطير والتجزئة ، والقسم الثاني يشتمل على عمليات التكسير لتحويل المقطرات الثقيلة الى مقطرات خفيفة .

وتتم عملية التقطير التجزيئي للزيت الخام في معامل التكرير الحديثة بشكل متصل ومستمر ، فيدخل الزيت الخام الى بداية خط التكرير ، وتخرج المقطرات المطلوبة من نهايته بشكل مستمر ، ويمكن بذلك تكرير آلاف الاطنان من الزيت الخام في اليوم .

ويجب ان يكون الزيت الخام المعد للتقطير خاليا من الغازات ، ولذلك يتم تسخينه اولا لفصل ما به من غازات حتى لا تتسبب هذه الغازات في زيادة الضغط داخل اجهزة التقطير ، وتجمع الغازات الناتجة وتضم الى غيرها من الغازات الهيدروكربونية لاستعمالها في اغراض اخرى .

كذلك يجب ان يكون الزيت الخام خاليا من الماء والأملاح ، ويتم فصل الماء الملح من الزيت عادة في حقل البترول قبل تخزينه في الصهاريج ، وقبل نقله الى معامل التكرير .

ويسخن الزيت الخام المراد تقطيره بامراره في انابيب حلزونية داخل افران خاصة ، فترتفع درجة حرارته الى ٤٠٠ - ٤٥٠ م° ، ثم يدفع هذا الزيت الساخن



شكل ٢ - ٤ احدى الفتحات برفوف برج التجزئة

الذى يكون في هذه الحالة على هيئة خليط من السائل والبخار ، الى الجزء الاسفل من برج التجزئة ، فتتطاير الاجزاء الخفيفة الى قمة البرج ، وتتجمع الاجزاء الثقيلة في قاع البرج .

وبرج التجزئة عبارة عن اسطوانة طويلة من المعدن تقف في وضع رأسي ، وقد يبلغ ارتفاعه نحو ثلاثين مترا .

ويحتوى هذا البرج على عديد من الرفوف المعدنية وتحتوى هذه الرفوف على فتحات خاصة مصممة بطريقة تسمح بمرور ابخرة المواد المتطايرة خلالها لتصعد الى الرفوف العليا ، بينما تتجمع السوائل المتكثفة على سطوحها وترتد الى الرفوف السفلى .

وعلى هذا الاساس ، فان ابخرة الزيت الخام عندما تدخل في الجزء الاسفل من برج التجزئة ، تنقسم الى عدة اجزاء ، فالهدروكربونات ذات السلاسل القصيرة ، والتي تكون درجات غليانها منخفضة ، تكون هي الاكثر تطائرا ، وتمر على هيئة بخار صاعدة الى قمة برج التجزئة ، على حين تتكثف ابخرة السوائل الهدروكربونية الأقل تطائرا ، وتتجمع على الرفوف في منتصف البرج ، بينما تتجمع السوائل ذات درجات الغليان المرتفعة بالقرب من قاعدة البرج .

ويتضح من ذلك ان قمة برج التجزئة هي ابرد مكان فيه ، وتخرج منها ابخرة المقطرات الخفيفة ( المتطايرة ) التي لم تتكثف داخل البرج ، وبعد ان يتم تبريد هذه الابخرة في مكثفات خاصة ، وتفصل منها الغازات ، تتحول الى سائل الجازولين ، وهو يتقطر عادة بين ٤٠ - ٨٠ °م .

ويجمع الكيروسين من المنطقة التى تقع اسفل قمة البرج ، ثم تجمع زيوت الوقود من المنطقة الوسطى ، وتجمع الزيوت الثقيلة من الجزء الاسفل من البرج ، ويتم تقطير هذه الزيوت الثقيلة فيما بعد تحت ضغط مخلخل حتى لا تتفحم بالحرارة ، وتفصل منها زيوت التشحيم وشمع البرافين .

أما المخلفات الثقيلة التى تبقى في قاع البرج ، فيتم سحبها وتعامل معاملة خاصة وينتج منها الاسفلت والبتومين والكوك .

وبالرغم من اختلاف تركيب زيوت البترول المستخرجة من مناطق مختلفة ، الا ان جميع هذه الزيوت الخام تخضع لعملية تكرير وتجزئة مماثلة ، وتفصل الى قطعات او اجزاء تستخدم في مختلف الاغراض .

### التكسير : "Cracking"

كانت احدى المشكلات الرئيسية التى جابهت شركات البترول ، هى كيفية تسويق منتجات التقطير المختلفة الناتجة من عمليات التكرير ، خاصة تلك المقطرات الثقيلة التى يقل عليها الطلب في الاسواق العالمية .

ونظرا للتقدم الهائل الذى حدث في كثير من الدول ، فقد انتشر استخدام السيارات والطائرات في المواصلات وفي عمليات النقل والشحن ، وقد ادى ذلك الى زيادة الطلب على المقطرات الخفيفة التى تستعمل في محركات الاحتراق الداخلى ، خاصة الجازولين .

ولا تستطيع عمليات التجزئة والتقطير في معامل التكرير ان توفر ما يكفى من الجازولين لمقابلة الاحتياجات المتزايدة منه عاما بعد عام ، وذلك لأن اجود اصناف البترول لا ينتج من تقطيره ما يزيد على ٢٠ - ٢٥٪ من وزنه من الجازولين تحت افضل الظروف .

وقد سارعت شركات البترول الى ابتكار طرق جديدة للاكثار من الجازولين وزيادة الكميات المنتجة من المقطرات الخفيفة التى يزايد عليها الطلب ، مثل طريقة التكسير الحرارى والتكسير في وجود عامل مساعد وعمليات الاصلاح وغيرها .

ويتلخص عملية التكسير الحرارى في تسخين بعض المقطرات الثقيلة التى لاكثر استعمالها ، عند درجة حرارة عالية وضغط مرتفع .

وتحت هذه الظروف القاسية من الضغط والحرارة ، تنكسر السلاسل

الطويلة التي تتكون منها جزيئات هذه المقطرات الى سلاسل اخرى اصغر منها ، ويؤدى ذلك الى خفض درجة غليان هذه المقطرات ، وبذلك تعطى عملية التكسير سوائل مشابهة للجازولين في درجات غليانها وتخلط به لاستعمالها كوقود .

ولا تتم عملية التكسير بهذه البساطة ، فهي تؤدى عادة الى تكوين عدد من النواتج ، فتعطى مركبات صغيرة الجزيئات مثل الغازات ، كما تعطى بعض الجزيئات الكبيرة ، التي تظهر على هيئة مواد ثقيلة تشبه زيوت التشحيم ، كما تتكون فيها بعض البقايا المتفحمة ، وتتغير نسب هذه المواد تبعا لدرجة الحرارة والضغط التي تجرى عندها عملية التكسير .

ويستلزم الامر دائما اعادة تقطير الخليط الناتج وتجزئته للحصول على المقطرات الشبيهة بالجازولين .

ويتم الاستفادة من النواتج الثانوية لعملية التكسير في اغلب الاحوال ، فيستخدم الجزء الغازى فى صنع بعض المنتجات الكيماوية الهامة وفى صنع بعض انواع اللدائن ، على حين تضاف الاجزاء الثقيلة الى زيت الوقود .

وهناك طريقة اخرى للتكسير تعرف باسم « التكسير الحفزى » وهى تشبه عملية التكسير السابقة ، ولكن يستعمل فيها عامل حافز يساعد على حدوث تفاعل التكسير فى درجة حرارة اقل ، وتحت ضغط يقل كذلك عن الظروف المستخدمة فى عملية التكسير الحرارى ، وبذلك تقل تكلفة هذه العملية وتتحسن انواع المواد الناتجة .

وقد استطاعت شركات البترول العالمية باستخدام طرق التكسير السابقة ان تنتج مزيدا من الجازولين الذى امكن اضافته الى الجازولين الناتج من التقطير العادى لزيت البترول ، وبذلك تمكنت من مجابهة الطلب المتزايد على هذا النوع من الوقود .

وعادة مايكون الجازولين الناتج من عمليات التكسير ، من جزيئات متفرعة السلسلة ، وهذا النوع من الجازولين لايشتمل بسهولة عند ضغطه ، ولذلك تزداد صلاحيته للاستعمال فى محركات السيارات ، ويعتبر رقمه الاوكتينى مرتفعا عن غيره من انواع الجازولين الاخرى .

### عمليات الاصلاح : "Reforming"

اكتشفت طرق اصلاح الجازولين بعد الحرب العالمية الثانية بقليل ، وعادة

ما تستخدم قطفة النافثا في هذه العملية ، وهى القطفة التى تزيد درجة غليانها قليلا على درجة غليان الجازولين .

وتتعدد طرق اصلاح الجازولين ، وبسط هذه الطرق تتضمن تسخين النافثا في وجود عامل حافظ من فلز البلاتين ، عند درجات حرارة تقل كثيرا عن درجات الحرارة المستخدمة في عمليات التكسير .

ولا يحدث في هذه العملية تكسير للجزيئات ، ولكن يحدث بها تغير طفيف في تركيبها ، فسلال الهدروكربونات التى تتكون منها جزيئات النافثا تكون اطول قليلا من السلاسل الكربونية التى تتكون منها جزيئات هيدروكربونات الجازولين ، ولذلك فان التغيير هنا لا يتعدى فقد بضع ذرات من الكربون من سلاسل النافثا .

كذلك تفقد بعض هذه السلاسل الكربونية بعضا من ذرات الهدروجين المتصلة بها ، وقد تتحول الى سلاسل جديدة متفرعة او الى نافثيات حلقة ، ولذلك ينتج من عمليات الاصلاح مقطرات ذات رقم اوكتينى مرتفع وتستعمل كاضافات الى الجازولين العادى المحضر بطريقة التقطير التجزيئى لرفع رقمه الاوكتينى وتحسين صفاته .

ويتضح من ذلك ان هذه العملية لا تتضمن تكسيرا للجزيئات ، ولكن يقال انه قد اصلح تركيبها فقط ، ولذلك سميت هذه العمليات بعمليات الاصلاح ، وقد يستعمل فيها الهدروجين او بعض العوامل الحافزة .

## الرقم الاوكتينى وخاصية الدق

اهم استخدام للجازولين هو استخدامه وقودا في محركات الاحتراق الداخلى ذات الاشعال بالشرارة ، كما في محركات السيارات .

ويخلط الجازولين مع الهواء في محركات السيارات ، ثم يضغط هذا الخليط بمكبس المحرك داخل الاسطوانة ، وعندما يصل المكبس الى نهاية مشواره ، تمر في هذا الخليط شرارة كهربائية من شمعة الاشعال ( البوجية ) ، فيشتعل الوقود في موجة منتظمة ، وتضغط الغازات الناتجة من الاحتراق وهى ثانى اكسيد الكربون وبخار الماء على سطح المكبس وتدفعه الى اسفل . وتتحول هذه الحركة الترددية إلى حركة دائرية عن طريق ذراع التوصيل والمرفق . ويمكن لهذه الحركة الدائرية دفع السيارة .

ويعرف هذا النوع من الاشتعال الذى يشتعل فيه الوقود في موجة منتظمة ،

بالاشتعال المنتظم ، وهو يؤدي الى سلسلة حركة محرك السيارة .

وهناك نوع من الهيدروكربونات لا يتحمل الضغط ، فعندما تخلط هذه الهيدروكربونات بالهواء وتضغط ، ترتفع درجة حرارتها وتشتعل ذاتيا قبل ان تمر بها الشرارة الكهربائية من شمعة الاشتعال .

وتعرف هذه الحالة التي يشتعل فيها الوقود المضغوط ذاتيا ، قبل مرور الشرارة الكهربائية بالاشتعال المبكر ، وذلك لان الاشتعال يحدث قبل وصول المكبس الى نهاية مشواره وقبل الوصول الى اعلى ضغط ممكن .

ولاتكون موجة الاشتعال منتظمة في هذه الحالة ، لان الاشتعال يبدأ هنا من اماكن متعددة في الخليط على شكل انفجارات صغيرة ، مما يؤدي الى صدور ذلك الصوت المعدني الذي يشبه الدق على سطح المعدن ، والذي نصفه عادة بقولنا « الحربية بسقف » ! .

وينتج هذا النوع من الاشتعال عادة عند استعمال انواع الوقود التي تحتوى على نسبة عالية من الهيدروكربونات مستقيمة السلسلة ، وهى تؤدي الى نقص كبير في قدرة المحرك .

وللاستفادة الكاملة من الوقود المستخدم ، وكى نحصل على الطاقة القصوى للمحرك ، يجب استعمال نوع من الوقود الذى يحتوى على نسبة عالية من الهيدروكربونات الحلقية المشبعة او الهيدروكربونات متفرعة السلسلة او بعض الهيدروكربونات الاروماتية ، وهى انواع تتحمل الانضغاط بصورة جيدة ، ولا تشتعل الا بعد مرور الشرارة الكهربائية فيها .

ويقاس الدق الناتج من الوقود بمقارنته بمركب هيدروكربونى متفرع السلسلة يعرف باسم « ايسو اوكتان » ، وهو لا يحدث دقا عند استعماله وقوداً في المحركات ، ولذلك يعتبر دقه مساويا للصفر .

ويخلط مركب الايسو اوكتان بمركب آخر مستقيم السلسلة يسمى « الهيدتان العادى » ، ويحدث هذا المركب الاخير دقا عاليا عند احراقه في المحركات ، أى أنه يشتعل وحده بمجرد ضغطه ، ولذلك يقال ان دقه يساوى ١٠٠ .

ويقارن دق الوقود المراد اختباره ، بدق خليط من هذين المركبين ، فاذا كان دقه مساويا لدق خليط يحتوى على ٨٠ ٪ ( حجما ) من ايسو اوكتان ، قيل ان رقمه الاوكتينى ٨٠ ، وتزداد صلاحية الوقود للاستخدام كوقود في المحركات بازدياد رقمه الاوكتينى ، واذا قيل ان الرقم الاوكتينى للوقود ١٠٠ ، فمعنى ذلك انه لا يحدث دقا في المحركات .

وعادة ماتكون انواع الجازولين التى تنتج مباشرة من عملية التقطير التجزيئى للبتروىل غير صالحة للاستخدام وقودا فى المحركات الحديثة ، وذلك لانها تكون ذات دق عال ، ورقمها الاوكتينى منخفض الى حد كبير ولايزيد على ٥٠ - ٦٥ ، ولذلك فهى لانتحمل الضغط العالى داخل المحركات ، ولذلك يضاف اليها عادة انواع اخرى من الجازولين جيدة الخواص ، مثل الجازولين الناتج من عمليات التكسير او عمليات الاصلاح ، او تضاف اليها بعض المواد الاخرى مثل رابع اثيل الرصاص لرفع رقمها الاوكتينى .

## انواع اخرى محسنة من الجازولين

تستخدم بعض العمليات الكيميائية المعروفة فى انتاج انواع محسنة من الجازولين ، وتساعد هذه الطرق على رفع نسبة الجازولين المنتج من زيت البترول ، كما تؤدى الى الاستفادة من بعض النواتج الثانوية التى لم تكن تعرف لها فائدة من قبل .

ومن امثلة هذه الطرق ، طريقة « الاسعرة » "Isomerization" وهى طريقة يعاد فيها ترتيب ذرات الكربون والهيدروجين فى سلاسل الهيدروكربونات ، فتتحول جزيئاتها من سلاسل مستقيمة الى سلاسل متفرعة ذات رقم اوكتينى مرتفع .

وهناك كذلك طريقة « الهدرجة » "Hydrogenation" وهى تتلخص فى معالجة بعض المركبات غير المشبعة بغاز الهيدروجين تحت بعض الظروف المناسبة ، وعندما تتحد هذه الهيدروكربونات غير المشبعة مع ذرات الهيدروجين تتحول الى مركبات مشبعة تساعد على تحسين صفات الجازولين .

وتستخدم كذلك طريقة « الالكلة » "Alkylation" ، وتستعمل فى هذه الطريقة الغازات الناتجة من عمليات التكسير ، وهى تتفاعل مع بعض الهيدروكربونات فى وجود بعض العوامل المساعدة لتعطى جزيئات جديدة متفرعة تضاف الى الجازولين .

وهناك طريقة اخرى تعرف بطريقة « البلمرة » "Polymerization" وتتحد فيها معا بعض الجزيئات الصغيرة المتشابهة لتكوين جزيئات اكبر منها ، وهى تعتبر عكس عملية التكسير ، ففى عملية التكسير يتم تكسير السلاسل الطويلة الى سلاسل اصغر منها ، بينما هنا تتحد السلاسل القصيرة لتكوين سلاسل اكبر منها .

ومن الملاحظ ان هذه الطرق السابقة اما ان تؤدي الى تكوين مقطرات مشابهة للجازولين ، واما ان تعطى مقطرات يمكن اضافتها للجازولين لتحسين صفاته ورفع رقمه الاوكتينى .

## تنقية المقطرات

تعتبر عملية تنقية مقطرات البترول عملية اساسية في معامل تكرير البترول . واهم الشوائب التى يجب التخلص منها ، ويتحتم فصلها من مختلف مقطرات البترول قبل استعمالها ، هى المركبات غير المشبعة والمركبات الاروماتية ، وكذلك مركبات الكبريت .

وتتم ازالة المركبات غير المشبعة والمركبات الاروماتية من الكيروسين ومن بعض زيوت التشحيم برجها مع حمض الكبريتيك المركز بواسطة الهواء المضغوط ، او برجها فى الطريقة المعروفة باسم « طريقة اديليانو » "Edeleanu" مع ثانى اكسيد الكبريت المسال تحت الضغط ، وهى طريقة تنسب الى مبتكرها وهو كيميائى رومانى وقام باستخدامها عام ١٩٠٧ .

وتذوب كل من المركبات غير المشبعة والمركبات الاروماتية فى حمض الكبريتيك المركز او فى ثانى اكسيد الكبريت المسال ، وتكون طبقة منفصلة يمكن فصلها بسهولة عن الزيت الهيدروكربونى الذى يغسل بالماء بعد ذلك ويعاد تقطيره ليصبح خاليا من الشوائب الضارة وصالحا للاستعمال .

اما شوائب الكبريت ، فهى عادة ماتوجد بمقطرات البترول على هيئة مركبات عضوية تعرف باسم « المركبتان » ، وتزال هذه المركبات عادة ببعض المواد الكيميائية مثل هيدروكسيد الصوديوم ، او بلمبيت الصوديوم ، او كلوريد النحاس ، وتعرف هذه العملية باسم « التحلية » "Sweetening" .

والسبب فى ضرورة ازالة مثل هذه الشوائب من مقطرات البترول قبل استخدامها ، هو انها تسبب كثيرا من الضرر للالات والمعدات التى تستخدم فيها هذه المقطرات .

ومثال ذلك ان المركبات غير المشبعة ان تركت فى الجازولين ، فهى ستتحول عند احتراقه فى محركات الاحتراق الداخلى مثل محركات السيارات ، الى مواد صمغية شديدة اللزوجة ، تتسبب فى سد بعض مسالك الكاربوراتير الضيقة مما يفسد العمل المنتظم للمحرك وقد يوقفه عن العمل .



كذلك فإن المواد أو المركبات الكبريتية عند احتراقها مع الوقود ، فهي تتحول الى اكاسيد الكبريت سهلة الذوبان في الماء ، وهي تكون مع بخار الماء الناتج من الاحتراق ، احماضا مثل حمض الكبريتيك الذى يسبب تآكل المحرك وتلفه .

ولهذه الاسباب السابقة كانت هناك مواصفات دولية تحدد نسبة مثل هذه المواد في مختلف انواع الوقود ، وهي مواصفات يجب التقيد بها تماما في انتاج مختلف انواع الوقود حتى تصبح صالحة للاستعمال .

وهناك كذلك مواصفات اخرى خاصة بزيوت التشحيم ، فهذه الزيوت تتعرض لدرجات حرارة عالية عند استخدامها ، ولذلك تزال منها كل الشوائب التى يمكن ان تتأكسد تحت هذه الظروف ، فتزال منها المواد الاسفلتية بواسطة غاز البروبان المسال ، وهو غاز ينتج من خام البترول ، كما تزال منها الشموع بواسطة بعض المذيبات الاخرى مثل « الفرفورال » او « مثيل اثيل كيتون » وهي مذيبات جيدة للشموع ويتكرر استخدامها في معامل التكرير .

## اهم نواتج تقطير البترول

يعتبر زيت البترول من اهم مصادر المواد الخام التى تستعمل في كثير من الصناعات الكيميائية ، مثل صناعة الاسباغ وصناعة الادوية وصناعة اللدائن وغيرها ، وتصنع هذه المواد اما من مقطرات البترول العادية واما من بعض الغازات التى تفصل منه في اثناء عمليات تجزئته ، او في اثناء عمليات التكسير وغيرها من العمليات .

وفيما يلي بعض النواتج الرئيسية التى يمكن الحصول عليها في اغلب عمليات تكرير البترول .

## الجازولين

الجازولين هو الاسم المستعمل حاليا لبنزين السيارات ، وهو يعتبر من اهم نواتج تقطير زيت البترول ، فهو يستعمل وقودا في محركات الاحتراق الداخلى ، ويزداد الطلب عليه في كل مكان نظرا لانتشار استخدام السيارات في عمليات النقل وفي المواصلات .

ويمثل الجازولين نحو ٤٠ - ٤٥ ٪ من زيت البترول المستخدم اليوم ، وهو

ينتج اما بالتقطير المباشر للبتروك الخام واما عن طريق بعض العمليات الاخرى غير المباشرة مثل عمليات التكسير والبلمرة وغيرها .

ويتكون الجازولين من خليط من عدة هيدروكربونات ، تتكون جزيئاتها من سلاسل قصيرة من الكربون ، ويتراوح عدد ذرات الكربون في كل سلسلة من خمس ذرات الى تسع أو عشر ذرات ، ولا تزيد درجة غليانه في اغلب الحالات على ١٠٠ م .

ويستهلك ٩٠٪ من الجازولين المنتج على المستوى العالمى ، في ادارة محركات السيارات والشاحنات ، بينما يستهلك القدر الباقي وهو لا يزيد على ١٠٪ في ادارة محركات الطائرات والجرارات وغيرها من الآلات .

### الكيروسين :

يمثل الكيروسين القطفة التالية التى تفصل بعد الجازولين في عملية التقطير التجزيئى .

وحتى عام ١٩٠٩ ، كان الكيروسين يمثل نحو ٣٣٪ من مجموع مقطرات البترول ، وكان يستخدم في عمليات الاضاءة قبل استخدام الكهرباء ، ثم تناقصت الكميات المستخدمة منه تدريجيا حتى وصلت اليوم الى نحو ٣٪ فقط واصبح يستخدم في بعض المجالات الضيقة مثل عمليات التسخين او الطهو في المنازل في بعض الدول ، كما استعمل وقودا في الطائرات النفاثة ، وتم استخدام جزء كبير منه في عمليات الاصلاح ، واكثر الجازولين .

### زيت الديزل :

يطلق هذا الاسم على بعض المقطرات التى تزيد درجة غليانها قليلا على الكيروسين ، وتستخدم هذه المقطرات في ادارة محركات الديزل المستخدمة في الشاحنات وفي السفن وفي القاطرات ، وكذلك في بعض محطات الكهرباء .

وقد ازداد الطلب حديثا على زيت الديزل ، وتبلغ الكميات المنتجة حاليا من زيت الديزل مئات الملايين من البراميل كل عام .

## زيت الوقود الخفيف :

يستخدم هذا الزيت في عمليات التسخين وفي الافران في بعض الصناعات ، وهو يعتبر احد المنتجات الهامة لصناعة البترول .

## زيت الوقود الثقيل :

يعرف احيانا باسم المازوت ، وهو زيت ثقيل يستعمل في عمليات التسخين وفي الافران في بعض الصناعات ، كما يستخدم كوقود لمراجل بعض السفن . ويعتبر زيت الوقود من ارخص منتجات البترول ، ولذلك يستعمل كثيراً كوقود لمراجل محطات القوى لتوليد الكهرباء .

## زيوت التشحيم :

تمثل هذه الزيوت نسبة صغيرة من منتجات البترول ، وتتصف هذه الزيوت بقدرتها العالية على الاحتمال ، ومقاومتها للتأكسد ، وهي تستعمل في تشحيم الاجزاء المتحركة في الآلات .

وهذه الزيوت متعددة الانواع ، فمنها مايستخدم في تشحيم آلات النسيج ، ومنها مايستخدم في تشحيم آلات البخار ، ومنها انواع خاصة تستخدم في تشحيم الآلات المستعملة في صنع المواد الغذائية الى غير ذلك من الانواع ، ولكل نوع من هذه الانواع مواصفاته الخاصة .

## الشحوم :

تختلف هذه المواد عن زيوت التشحيم ، فهي مواد شبه جامدة في درجات الحرارة العادية ، ومن أمثلتها الفازلين .

وتستخدم هذه الشحوم في تشحيم المحاور ، واجزاء الآلات التي تدور بسرعة كبيرة وتتعرض لدرجات حرارة عالية ، والتي لاتصلح لها زيوت التشحيم ، وذلك لان الشحوم تتصف بثباتها الكيميائي ومقاومتها لظروف التشغيل القاسية .

## الشموع :

تعرف أنواع الشمع التي تفصل من البترول بشمع البرافين ، وهى تفصل عادة من زيوت التشحيم بتبريدها إلى درجة حرارة منخفضة وتترك فترة حتى يتجمد ما بها من شمع . وتستعمل هذه الشموع في كثير من الأغراض ، فقد تستخدم في صنع بعض قوالب الصب ، أو في صنع بعض الورنيشات ، أو شموع الاضاءة ، كما تستعمل أيضا في صنع أنواع من الورق الصامد للماء الذي يستخدم في تعبئة اللبن وفي تغليف الخبز إلى غير ذلك من الأغراض .

## الاسفلت :

الاسفلت هو عبارة عن الجزء الثقيل الذي يتخلف من عمليات تقطير البترول الخام ، وهو يستخدم أساسا في رصف الطرق وفي عزل الاسقف والجدران عن مصادر الرطوبة .

## كوك البترول :

ينتج كوك البترول من عمليات التكسير والتقطير الاتلافي وفي بعض الاحيان من عمليات تقحيم المازوت . ويستخدم كوك البترول مصدرا للحرارة في عمليات التسخين في الصناعة كما يستخدم عامل اجتزال في بعض الصناعات الفلزية ، وفي صنع كربيد الكالسيوم الذي يحضر منه غاز الاسيتيلين ، وفي غير ذلك من الأغراض .

## السناج :

السناج عبارة عن دقائق متناهية في الصغر من الكربون ، وهو يحضر بحرق بعض غازات البترول حرقا غير كامل ، أى في وجود قدر غير كاف من الاكسجين ، كما يحضر جزء كبير من هذا السناج من عمليات التكسير . ويستعمل السناج في صنع احبار الطباعة ويغض أنواع الطلاء ، كما يستخدم في صنع اطارات السيارات وفي بعض الأغراض الأخرى .

## الغازات :

يتصاعد كثير من الغازات في أثناء عمليات تكرير زيت البترول ، خاصة في عمليات التكسير والاصلاح .

ويتنوع تركيب هذه الغازات ، فهي قد تحتوى على الهيدروجين والميثان والبروبان والبيوتان وهى هيدروكربونات مشبعة ، كما قد تحتوى كذلك على قدر صغير من بعض الغازات غير المشبعة مثل الاثيلين والبروبيلين والبيوتيلين .

ويتم عادة فصل الغازات غير المشبعة من هذا الخليط ، وهى تستخدم في صنع أنواع متعددة من المواد الكيميائية التى تحتاجها الصناعات الكيميائية المختلفة .

أما الغازات البرافينية المشبعة مثل البروبان والبيوتان ، فيتم إرسالها وتعبئتها لاستخدامها وقودا في المنازل تحت اسم البروجاز والبيوتاجاز ، كما يتم إضافتها أحيانا إلى غاز الفحم لزيادة قيمته الحرارية .

أما غاز الهيدروجين ، فبعد أن يتم فصله ، يعاد استعماله في صناعة البترول في عمليات التكرير والاصلاح .

## الكيميائيات من البترول

يحضر من البترول عدد كبير من المركبات الكيميائية النافعة التى تستخدم بدورها في تصنيع كثير من المواد الهامة التى يستعملها الانسان في حياته اليومية .

ومن أمثلة هذه المواد الاثيلين والبروبيلين والبيوتيلين والايسوبيوتيلين ، والهكسان الحلقي والفينول والاسيتون والكحول الاثيل والكحول الايسوبروبيل وبعض المركبات غير العضوية مثل النشادر وفوق اكسيد الهيدروجين .

وهناك مركبات اخرى يتم تصنيعها من مشتقات البترول مثل بعض المنظفات الصناعية وبعض أنواع المطاط الصناعى المحضر من البيوتاديين ومن الاستايرين .

وتحضر كذلك بعض أنواع الألياف الصناعية من مواد مخلقة من البترول مثل : ألياف النايلون والأور لون والداكرون والاكريلان ، كما تحضر بعض اللدائن من منتجات البترول ، مثل البولى اثيلين ، وبعض أنواع الأنابيب والجلد الصناعى وبعض أنواع الطلاء .

كذلك تستخدم بعض مشتقات البترول في تحضير بعض أنواع ورنيشات الارضيات ومواد تلميع الاثاث ، وبعض المطهرات والشامبو وكميمات الوجه وبعض منتجات التجميل الاخرى ، بالإضافة إلى كثير من الادوية والاصباغ وما شابهها من مواد .

وتعرف هذه الصناعة بصناعة البتروكيمياويات «Petrochemicals» وهى توفر لنا حاليا عددا هائلا من المنتجات التى نستخدمها كل يوم فى المنزل ، وفى المصنع وفى الحقل .

## توزيع منتجات البترول

لا يتم توزيع منتجات البترول من معامل التكرير إلى المستهلكين مباشرة الا فى حالات نادرة ، ويتم توزيع هذه المنتجات عادة عن طريق وسطاء يتولون هذه المهمة .

وغالبا ما يكون هؤلاء الوسطاء على هيئة شركات توزيع ، تتلقى المنتجات البترولية بواسطة خطوط الانابيب أو بواسطة السفن والشاحنات ، ثم تقوم بتخزينها فى صهاريج خاصة بجوار المدن والمراكز الصناعية .

وعادة ما تمتلك مثل هذه الشركات عددا من وسائل النقل الحديثة المخصصة لنقل البترول مثل عربات الصهاريج والشاحنات التى تستخدمها فى توزيع المنتجات البترولية إلى محطات البنزين وإلى شركات النقل والمصانع ومحطات القوى وتوليد الكهرباء .

وتنتشر محطات البنزين التى تقوم بخدمة السيارات اليوم فى كل مكان ، فهى توجد فى وسط المدن كما توجد فى مداخل المناطق الصناعية والمناطق المزدحمة بالسكان ، وعلى طول الطرق السريعة .

وقد كانت هذه المحطات تدار قديما بواسطة الشركات المنتجة للبترول نفسها ، ولكن نظرا لزيادة أعداد هذه المحطات وزيادة أعداد العاملين بها ، فقد أصبحت هذه المحطات تمثل عبئا كبيرا على هذه الشركات ، ولذلك يوكل العمل اليوم فى هذه المحطات ، إلى أفراد أو شركات خاصة تستطيع إدارتها بكفاءة عالية .

## الانتاج العالمى للبترول

كانت الولايات المتحدة تعتبر من أهم الدول المنتجة لزيت البترول في نهاية القرن الماضى ، وقد استطاعت أن تنتج ما يكفيها من البترول خلال قرن من الزمان .

ولم يستمر ذلك طويلا ، ففي عام ١٩٤٨ بدأت الولايات المتحدة تشعر بحاجتها إلى مزيد من البترول لإدارة صناعاتها المختلفة ، وبدأت في استيراد بعض حاجتها منه من الدول الأخرى ، مثل فنزويلا ودول الشرق الأوسط .

وقد كان الحظر على البترول العربى عام ١٩٧٣ ، دافعا للولايات المتحدة على إنتاج مزيد من البترول المحلى الموجود بها ، وتم تشغيل خط أنابيب الاسكا عام ١٩٧٧ واستخدم في نقل نحو ١,٢ مليون برميل من البترول في اليوم .

ويعتبر الاتحاد السوفيتى من أكبر الدول المنتجة للبترول اليوم ، تليه السعودية ثم الولايات المتحدة والمكسيك وفنزويلا والصين وبريطانيا واندونيسيا .

وتمتلك دول الشرق الأوسط أكبر مخزون للبترول في أراضيها ، ويقدر هذا المخزون بنحو ٥٥ - ٦٠٪ من البترول الموجود على مستوى العالم ، بينما يمثل المخزون منه في الولايات المتحدة وأمريكا الشمالية بنحو ١٤٪ ، وفي أوروبا الشرقية والاتحاد السوفيتى نحو ١٠٪ ، وفي افريقيا ٨٪ وفي آسيا ٦٪ .

وليس من المتوقع أن يتجدد هذا المخزون من البترول في حياة الانسان ، وحتى لو كانت عمليات تكوين زيت البترول من بقايا الكائنات الحية مازالت قائمة حتى الآن ، فهي عمليات تتصف بالبطء الشديد ، ولا تتناسب أبدا مع السرعة الهائلة التى يستهلك بها الانسان ماله من بترول ، ولهذا فقد سميت مصادر البترول ، ومعها الفحم والغاز الطبيعى ، بأنها مصادر غير متجددة للطاقة .

ومن المتوقع أن يزداد الانتاج العالمى للبترول ليواكب التقدم العلمى والتكنولوجى المتوقع خلال السنوات القادمة ، إذا تم اكتشاف مكامن جديدة للبترول أو إذا أمكن استغلال الطفل البتيومينى والرمال القارية المحتوية على الزيت بطريقة اقتصادية .

## استخراج الزيت المستعصى

عندما يصل حجم البترول المستخرج من البئر إلى أقل قدر ممكن ، أى عندما يصبح ما يستخرج منها من زيت ، كافيا بالكاد لتغطية نفقات هذه البئر ، تعتبر هذه البئر « بئرا حدية » .

وعادة ما يحدث هذا عندما تنتج البئر أقل من عشرة براميل من الزيت في اليوم ، ولو أن هناك بعض الآبار التى تنتج أقل من ذلك بكثير ، فقد يصل انتاج بعض هذه الابار إلى نحو  $\frac{1}{4}$  برميل يوميا .

ولا يدل عادة هذا الانتاج الضئيل على أن ما بالبئر من بترول قد استنفد نهائيا ، فبعض هذه الآبار ضئيلة الانتاج قد تحتوى في أعماقها على عدة ملايين من براميل البترول ، ولكن يصعب استخراج هذا الكم الهائل من الزيت من باطنها بالطرق البسيطة المعروفة .

ويطلق على هذا الزيت الذى يصعب استخراجه من باطن الارض بالطرق المعتادة ، اسم الزيت المستعصى .

ولايمكن عادة استخراج كل ما يمكن الزيت من بترول ، فقد يمكن استخراج نحو ٤٠٪ من هذا الزيت ، ولكن الجزء الأكبر منه الذى قد يصل إلى ٦٠٪ مما بالممكن من زيت قد يتبقى في باطن الأرض ويستعصى استخراجه .

وتدل تقديرات شركات البترول في الولايات المتحدة انه قد تم استخراج نحو ١٠٠ مليار برميل من الزيت من مختلف مكامنه في أراضي الولايات المتحدة ، على حين يتبقى في هذه المكامن جزء كبير من الزيت يصل إلى نحو ٤٠٠ مليار برميل .

ويرجع السبب في عدم استطاعتنا استخراج كل هذا القدر الكبير من البترول من باطن الأرض ، إلى التصاق البترول بالتكوينات الصخرية المسامية التى يوجد فيها ، ويشبه ذلك كل الشبه ما يحدث للماء الذى تنتشعب به مسام قطعة من الاسفنج ، فلا يمكن الحصول على هذا الماء الا بالضغط على قطعة الاسفنج .

ويتساعد زيت البترول من الآبار في أغلب الحالات تحت الضغط الطبيعي للمكمن ، وعندما يقل هذا الضغط ، ولاتعود المضخات تستخرج شيئا ، يصبح استخراج البترول من البئر بالغ الصعوبة وباهظ التكاليف ، ولهذا تهمل مثل هذه الابار لانها لايمكن استغلالها بطريقة اقتصادية .

وبعد أن ارتفعت أسعار البترول في السوق العالمية ، أصبح استخراج هذا البترول أكثر جاذبية ، ولذلك فقد ابتكرت عدة طرق حديثة لاستخراج هذا الزيت



المستعصى عنوة من باطن الارض ، إما بدفع البخار وإما باستخدام المذيبات أوحتى بحرق جزء منه بالنار لانتزاعه من الصخر انتزاعاً .

وأول مألقت الانتظار إلى طرق استخراج الزيت المستعصى هو ما حدث لاحد حقول البترول بالولايات المتحدة ، وهو حقل برادفورد الذى يعتبر من أقدم حقول البترول فى العالم .

وقد بلغ انتاج هذا الحقل ذروته عام ١٨٧٨ ، حيث استخرج منه ٢٣ مليون برميل من البترول ، ولكن بدأ إنتاج الحقل ينخفض تدريجيا بمرور الزمن حتى وصل انتاجه إلى نحو ١٠٪ من انتاجه السابق عام ١٩٠٥ ، ثم تم التخلي عنه بعد ذلك ، واعتبرت آبار هذا الحقل آبارا جافة .

وقد حدث بعد ذلك أن غمرت المياه بعض الآبار المهجورة فى هذا الحقل ، فحدث شيء غير متوقع ، إذ نشطت هذه الآبار فجأة وأصبحت آبارا منتجة ، فقد دفع الماء الزيت إلى خارج الآبار بعد أن حل محله فى مسام الصخور .

وقد فطن الناس إلى صلاحية هذه الطريقة فى استخراج الزيت المستعصى ، وبدأوا فى استعمالها فى الآبار المهجورة ، ولكنهم كانوا يسكبون الماء ببساطة فى البئر ، ثم تطورت الطريقة بعد ذلك فحفرت آبار خاصة فى الحقل يحقن فيها الماء تحت ضغط ليدفع الزيت الى سطح الارض من آبار أخرى تحيط بهذه الآبار .

وقد استخدمت هذه الطريقة فى حقل برادفورد بعد ذلك وارتفع انتاجه عام ١٩٣٧ إلى نحو ١٧ مليون برميل من البترول .

وتستعمل طريقة الفمر المائى اليوم فى ٩٠٪ من حقول البترول فى الولايات المتحدة ، كما استخدمت فى بعض البلاد الاخرى بنجاح .

وعلى الرغم من نجاح هذه الطريقة فى استخراج الزيت المستعصى فى كثير من الحالات ، إلا أنها لم تعد كافية لاستخراج كل ما بالآبار من زيت ، خاصة اذا كان هذا الزيت لزجا وكثيفا وشديد الالتصاق بمسام الصخور .

وقد عدلت هذه الطريقة بعد ذلك ، فاستخدم البخار فوق الساخن ، أى المسخن لدرجة ٥٠٠ مئوية ، ونجحت هذه الطريقة فى كثير من الحالات ، وأدى حقن البخار فى الآبار إلى دفع البترول إلى سطح الارض ، خاصة فى الحالات التى يكون فيها الزيت غليظ القوام ويحتاج إلى حرارة عالية لجعله اكثر سيولة .

ولكن هذه الطريقة لم تكن الحل الكامل لكل مشاكل استخراج هذا الزيت المستعصى ، وذلك لان باطن الارض متغير الخواص ، فقد يحتوى على صخور غير

مسامية تعمل كحواجز وتمنع انتشار البخار الساخن في الطبقات المحتوية على الزيت .

كذلك فان هذه الطريقة مرتقعة التكاليف ، فلا بد من توفير طاقة كبيرة لتسخين البخار ورفع درجة حرارته إلى  $500^{\circ}\text{C}$  ، حتى أنه يقال أنه من كل أربعة براميل من الزيت تستخرج بهذه الطريقة ، يتم إحراق برميل منها لتسخين هذا البخار .

وقد استخدمت بعد ذلك طريقة أكثر فعالية تتضمن توليد الحرارة في مكن البترول بطريقة مباشرة ، وذلك بضخ الهواء في المكن وإشعال النار في الزيت ، وبذلك تندفع الغازات الساخنة الناتجة من الاحتراق حاملة معها معظم ما بالمكن من زيت إلى بئر الانتاج .

وهذه الطريقة اقتصادية إلى حد كبير ، إذ لا يزيد ما يتم حرقه من الزيت عن ١٠ - ١٥٪ فقط ، وعلى الرغم من انتشارها واستعمالها في استخراج الزيت المستعصى في كثير من حقول البترول ، إلا أن لها مشاكلها كذلك ، فهناك احتمالات متعددة ، منها حدوث تآكل في بعض الصخور ، وحدث بعض الانهيارات وغيرها ، ولذلك تم التحول إلى طرق أخرى أبسط منها .

وتستخدم إحدى الطرق الحديثة حقن الغاز الطبيعي في آبار البترول تحت ضغط مرتفع . ويمتزج هذا الغاز بزيت المكن ويذوبه فيجعله أكثر سيولة ويدفعه إلى بئر الانتاج .

ونظرا لارتفاع سعر الغاز الطبيعي في السنوات الأخيرة ، فقد تم تطوير هذه الطريقة ، فبدلا من حقن الغاز الطبيعي في الآبار يحرق الغاز الطبيعي أولا ثم تدفع الغازات الناتجة من الاحتراق في مكن الزيت .

ويستخدم في هذه الطريقة المطورة قدرا أقل من الغاز الطبيعي لأن كل متر مكعب من الغاز الطبيعي يعطى أربعة أمتار مكعبة من غازات الاحتراق .

ويشترط لنجاح هذه الطريقة أن يكون التركيب الكيميائي للزيت مناسباً كي يتم ذوبانه أو ذوبان الغازات فيه ، كما أن الأمر يتطلب أن تكون الصخور المحتوية في مسامها على الزيت ، منتظمة المسام ، ولا فشل الغاز في دفع الزيت إلى سطح الأرض .

وقد استخدم غاز ثاني أكسيد الكربون في بعض الحالات لدفع الزيت المستعصى إلى سطح الأرض ، ولكن قد لا يتيسر وجود هذا الغاز بجوار آبار البترول ، إلا إذا

وجد حقل طبيعي لهذا الغاز بجوار حقل البترول ، أو أمكن الحصول عليه من مداخن بعض المصانع القريبة ، والا فلا يمكن استخدامه .

وقد استخدمت كذلك طريقة حديثة يدفع فيها خليط من الماء والصابون أو بعض المنظفات الصناعية في مكن الزيت ، ويستخدم هذا الخليط في خفض التوتر السطحي للزيت ، وتكوين مستحلب من الزيت في الماء يمكن دفعه بالماء بعد ذلك إلى سطح الأرض ، ولكن هذه الطريقة تعتمد في صلاحيتها على التركيب الجيولوجي لمكن الزيت ، فأى جرف من الصخر قد يوقف تيار المنظفات ، كما أن هذه المواد الكيميائية قد لا تدخل الجيوب الرئيسية للزيت وبذلك تقل فاعليتها .

ولاشك أن هذه الطرق المستحدثة لاستخراج الزيت المستعصى الذي لا يمكن استخراجه من المكن بالضغط ، ستساعد كثيرا على رفع إنتاج كثير من حقول البترول في كل مكان .

## مصادر جديدة للبترول

يتزايد الطلب على البترول على مستوى العالم يوما بعد يوم ، خاصة في خلال الاعوام القليلة الماضية ، فقد بلغ استهلاك البترول خلال ١٩٨٠ - ١٩٨١ نحو ٣ مليارات طن .

وعلى الرغم من المحاولات الجادة التى تجرى في كثير من الدول الصناعية للحد من استهلاك الطاقة ، وابتكار طرق لتوفيرها وتخزينها ، إلا أنه ثبت أن استهلاك البترول في كل من قطاعي النقل والمواصلات وصناعة البتروكيماويات لا يمكن تعويضه بصورة أخرى من الطاقة .

فقطاع النقل يستهلك نحو ٤٠٪ من استهلاك البترول في الدول الصناعية ، ومن المتوقع أن يزداد هذا الاستهلاك ليصل إلى نحو ٦٥٪ عام ٢٠٠٠ .

وينطبق ذلك أيضا على كثير من الدول النامية التى تتطلب المشروعات الجديدة فيها وخطط التنمية الطموحة بها ، مزيدا من استهلاك الطاقة .

ومن المتوقع أن يصل استهلاك البترول على مستوى العالم إلى نحو ٣,٦ مليار طن يزداد إلى نحو ٤ - ٤,٥ مليار طن عام ٢٠٠٠ ، رغما عن كل المحاولات القائمة لخفض استهلاك الطاقة .

ويقدر المخزون العالمى من البترول حاليا بنحو ٣٥٠ مليار طن على الأكثر ، وهو يشمل كل ما يتوقع وجوده في المكامن تحت سطح الأرض أو تحت المياه الشاطئية للبحار ، وإن كانت التقديرات الخاصة بالزيت المحتمل وجوده في مياه البحار العميقة أو في المناطق القطبية ، ليست دقيقة بدرجة كافية .

ومن المقرر أن كميات البترول التى تم اكتشافها واستغلالها على مستوى العالم حتى الآن لاتزيد على ٦٠ مليار طن ، وأن هناك نحو ٩٠ - ١٠٠ مليار طن أخرى مخزونة بصفة مؤكدة في باطن الأرض وتنتظر الاستغلال ، أما بقية المخزون العالمى فينتظر اكتشافه واستغلاله في المستقبل .

وفي ديسمبر ١٩٨٠ أعلنت الوكالة السويدية للبترول في تقرير لها باسم

« الاحتمالات البترولية وجيولوجيا رواسب بلزينوف في سيبيريا الغربية »  
« Petroleum Potential and Geology of The Bazhenov Deposits in  
West Siberia » إنه قد تم اكتشاف كميات هائلة من البترول المخزون في باطن  
الارض في سيبيريا تقدر بنحو ٦١٩ مليار طن .

وقد أثار هذا التقرير اهتمام الدوائر المهمة بشئون البترول ، فهذا القدر  
الهائل من البترول يبلغ أكثر من ضعف المخزون العالمى من البترول ، وهو يقع على  
عمق قليل نسبيا من سطح الارض ، لايزيد على ٢٥٠٠ متر ويغطى مساحة قدرها  
نحو مليون كيلومتر مربع .

ولاشك أن وجود مثل هذا المخزون الهائل من البترول في سيبيريا سيعزز  
استقلال الاتحاد السوفيتى تماما في مجال الطاقة ، ويضمن له مصدرا من الطاقة  
لدة طويلة جدا .

وعلى الرغم من هذا الاكتشاف الجديد فاننا لانتظر أن يدخل هذا المخزون  
في السوق العالمية للبترول في القريب العاجل .

وهناك مصادر اخرى للبترول يمكن استغلالها مستقبلا مثل « الطفل  
الزيتى » « Oil Shale » او الرمال القارية « Tar Sands » وهى مصادر غير  
مستغلة حاليا ولكنها يمكن أن تعطينا قدرا كبيرا من زيت البترول عند تقدم  
التكنولوجيا المتعلقة باستخدامها ، خاصة وأن انتاج البترول العالمى لاينتظر أن  
يزيد على ٣ - ٢,٥ مليار طن حتى عام ٢٠٠٠ ، وهو قدر يقل بنحو مليار إلى مليار  
ونصف طن عن القدر المطلوب في ذلك الوقت .

وقد أدى هذا النقص المتوقع بين انتاج البترول واستهلاكه إلى تحول الأنظار  
نحو الطفل الزيتى والرمال القارية ، لعلها تعوض هذا النقص .

### الطفل الزيتى :

يعرف هذا النوع من الطفل كذلك باسم « الطفل البتيومينى » وهو يحتوى  
على ما يعرف « بالكبروجين » « Kerogen » وهى مادة تشبه القار وتتركب من  
جزيئات عضوية كبيرة نتجت عند تعرض بقايا الحيوانات البحرية والطحالب  
للحرارة والضغط ، ويعطى هذا الطفل عند تسخينه بعض السوائل التى تشبه زيت  
البترول في خواصه .

وقد عرف الطفل البتيومينى منذ زمن بعيد ، خاصة في مناجم الفحم في

ديربى شايير « Derbyshire » بانجلترا ، وقد قام رجل يدعى « جيمس يونج » ،  
« James Young » بإجراء أولى التجارب على هذا النوع من الطفل وقام بتقطيره  
في معزل عن الهواء وحصل منه على سوائل تقبل الاشتعال ، وقد ظن أن هذا الزيت  
من نواتج الفحم .

وفي عام ١٨٥٨ تم اكتشاف بعض رواسب جديدة من الطفل الزيتي في  
بريطانيا بعيدا عن مناجم الفحم ، وأقيمت لها مصانع خاصة لتقطيرها وبلغ أقصى  
إنتاج لهذه المصانع من الزيت عام ١٩١٢ قبل الحرب العالمية الأولى .

وتستخدم طريقة التقطير الاتلاقي للحصول على الزيت من الطفل  
البتيوميني ، فيتم تكسير الطفل الى قطع صغيرة الحجم ، ثم يسخن بمعزل عن  
الهواء إلى درجة حرارة عالية ، فيتقطر منه سائل يشبه البترول ، كما ينتج منه قليل  
من الماء المحتوي على بعض المواد العضوية .

وتستخدم هذه الطريقة بشكل محدود في بعض البلاد التي يتوفر بها هذا  
النوع من الطفل ، مثل اسكتلندا وأستراليا .

وتوجد رواسب كبيرة من هذا الطفل في بعض البلاد الأخرى مثل البرازيل  
والولايات المتحدة ، ومن المعتقد أن تقطير رواسب الطفل الزيتي الموجودة بالولايات  
المتحدة قد يعطى أكثر من ٢ بليون برميل من الزيت ، ولكن ذلك يقتضى جمع  
وتقطير كميات هائلة من هذا الطفل مما يجعل هذه العملية غير عملية وباهظة  
التكاليف .

ويعتبر الطفل ذا قيمة اقتصادية إذا أعطى من الزيت قدرا يفوق مقدار  
الزيت ، أو الغاز اللازم لتسخينه وتقطيره .

وتبلغ الطاقة اللازمة لتسخين الطفل وتقطيره عند ٥٠٠°م نحو ٢٥٠ كالوري  
للجرام ، بينما تبلغ القيمة الحرارية للمادة العضوية التي يحتوي عليها الطفل ،  
وهي الكيروجين ، نحو ١٠,٠٠٠ كالوري للجرام ، وعلى هذا الأساس فإن الطفل  
الذي يحتوي على ٢,٥٪ كيروجين يعتبر الحد الأدنى من الطفل الصالح  
للاستخدام في إنتاج الزيت .

ويجب عمليا ألا يستخدم في التقطير إلا أنواع الطفل التي تحتوي على ٨ -  
١٠٪ من الكيروجين ، وهي تعطى في هذه الحالة قدرا معقولا من الزيت ليصل إلى  
نحو ٤٠ - ٤٥ لترا لكل طن من الطفل .

والزيت الناتج من تقطير الطفل البتيوميني يختلف قليلا عن زيت البترول

المعتاد ، فهذا الزيت يحتوى على نسبة أعلى من الكبريت ، كما يحتوى على قدر اكبر من المركبات النتروجينية ، وتصل نسبة النتروجين فيه إلى ٢٪ تقريبا بالمقارنة بالبتروال الذى لا تزيد فيه نسبة النتروجين على ٠,١٪ .

كذلك يحتوى هذا الزيت على قدر أكبر من المركبات الاوليفينية غير المشبعة ، ويجب التخلص منها بالهدرجة أى بمعاملتها بالهدروجين ، ولكنه رغم كل ذلك يصلح وقودا مثل زيت البتروال المعتاد .

ويعتبر التخلص من بقايا الطفل بعد تقطيره عبئا كبيرا على القائمين على مثل هذا المشروع ، فنسبة الزيت الناتجة من هذا الطفل لانتزید في المعتاد على ٥٠ كيلو جراما لكل طن من الطفل ، ويعنى ذلك أنه لانتاج ٥ مليون طن من الزيت يجب أن نتعامل مع ١٠٠ مليون طن من هذا الطفل ، ولاتوجد طريقة اقتصادية للتخلص من مثل هذا القدر الهائل من البقايا التى تتكون من السليكات والكربونات ، ولاشك أنها ستسبب أضرارا هائلة للبيئة المحيطة بهذا المشروع .

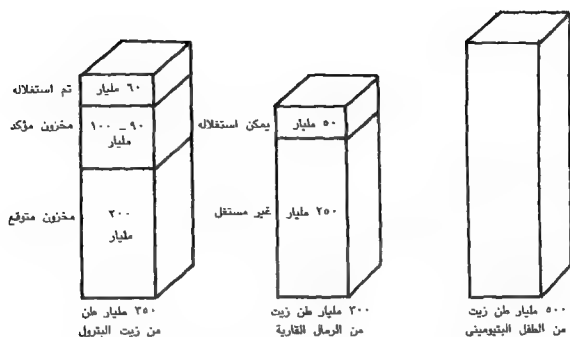
كذلك يمثل استهلاك الماء في عمليات التقطير صعوبة أخرى ، ففي بعض هذه الطرق يحتاج الامر إلى استخدام أربعة أمتار مكعبة من الماء لكل متر مكعب من الزيت ، وهو حجم هائل من الماء لأبد وأن يتوافر في المنطقة التى تجرى بها عملية التقطير .

ويمكن التخلص من بعض هذه الصعوبات اذا تم استخراج الزيت من الطفل في المناطق غير الأهلة بالسكان كما في كولورادو في الولايات المتحدة أو في بارانا « Parana » بالبرازيل ، وقد اجريت بعض التجارب على هذا الطفل في كولورادو ولكن هذه التجارب أوقفت تماما عام ١٩٨٢ .

وأكبر مناجم لهذا الطفل تقع في « جرين ريفر » « Green River » بالولايات المتحدة ، وهناك بحوث تجرى لاستغلال الطفل البتيوميني في موقعه تحت الارض كما في طريقة تغويز الفحم .

## الرمال القارية :

توجد الرمال القارية في بعض المناطق بشرق فنزويلا وفي ولاية البرتا بكندا . ويحتوى هذا النوع من الرمال على سوائل كثيفة تشبه القار ، وهى تختلف في تركيبها عن البتروال العادى ، فهى تحتوى على قدر أقل من الهيدروكربونات



شكل ٢ - ٥. المخزون العللي من البترول والرمال القارية والطفل البتيوميني

المشبعة وتحتوي على بعض المواد الاروماتية وبعض الراتنجات والمواد الاسفلتية المحتوية على الكبريت .

وتزداد نسبة المواد الراتنجية والاسفلتية في الرمال القارية عنها في البترول العادي ، فهي تتراوح بين ٢٥ - ٧٠٪ في الرمال القارية بينما تتراوح في زيت البترول بين صفر - ٢٠٪ على أكثر تقدير ، وهي تشبه القار في قوامها ولذلك أطلق اسم الرمال القارية على هذه الرمال .

كذلك يزداد محتوى المواد المعدنية في هذه الرمال ، فتبلغ نسبة النيكل في الزيت الناتج منها نحو ١٥٠ جزءاً في المليون ، والفناديوم نحو ١٢٠٠ جزء في المليون ، كما تزداد به نسبة الكبريت والتروجين .

وتوجد كميات هائلة من هذه الرمال القارية ، ومن المقدّر أنه يمكن استخراج نحو ١٤٠ - ٢٠٠ مليون طن زيت من هذه الرمال الموجودة بكندا ، كما يمكن استخراج نحو ١٥٠ - ٣٠٠ مليون طن زيت من الرمال القارية بفنزويلا .

ويتم إستخراج الزيت من هذه الرمال حالياً بكندا ، فتعامل الرمال القارية بالماء الساخن ، أو بالبخار لفصل القار عن الرمال الذي يتم تقطيره بعد ذلك ، ويستخرج بهذه الطريقة نحو ٨ ملايين طن في اليوم الواحد .



أما بالنسبة للمواد البتيومينية الأقل كثافة والمختلطة بالرمال فهي تستخرج بطرق مشابهة لاستخراج البترول من باطن الأرض ، فتحفر لها الآبار ، ثم يدفع البخار في هذه الآبار .

وعادة ما يستعمل البخار فوق الساخن حيث تبلغ درجة حرارته ٣٠٠°م ويدفع تحت ضغط عال ، فيدخل هذا البخار في مسام الرمال ويرفع درجة حرارة المواد البتيومينية والقار ، فتقل كثافتها وتنساب بسهولة في هذه المسام ويمكن عندئذ دفعها بالمضخات عن طريق آبار أخرى إلى سطح الأرض .

وقد تم انتاج نحو ٢٠ مليون طن في العام بهذا الاسلوب في كل من كندا وفنزويلا .

وقد أقيم في فرنسا مشروع تجريبي لاشعال الرمال القارية تحت الأرض . ويتلخص هذه الطريقة في حقن الهواء عن طريق آبار خاصة ليصل إلى مكامن هذه الرمال ، وبذلك تتقدم جبهة مشتعلة خلال المنجم وتؤدي الحرارة الناتجة إلى تصاعد الهيدروكربونات والمواد المتطايرة الأخرى خلال آبار أخرى إلى سطح الأرض .

وتعترض عملية تقطير الرمال القارية عدة صعوبات ، أهمها أن الزيت الناتج يحتوي على قدر كبير من المواد الاسفلتية ذات الكثافة العالية ولهذا فإن الأمر يقتضى تعديل نظام التكرير في معامل تكرير البترول الخام لهذا الغرض أو إقامة أنظمة جديدة للتكرير كما حدث في فرنسا بالقرب من ليون ، حيث أقيمت معامل تكرير خاصة للزيت الناتج من الرمال القارية تستطيع معالجة نحو ٢٠,٠٠٠ طن من هذا الزيت في العام .

ولا يجب الاستهانة بالطفل البتيوميني ، أو بالرمال القارية ، فرغم كل الصعوبات ، فهي تمثل مصدرا للزيت يبلغ أكثر من ضعفى زيت البترول المعتاد ، ومن المنتظر أن يتم استغلال هذه المصادر الجديدة بصورة اقتصادية في أوائل القرن القادم .



## الغاز الطبيعي

استخدم الانسان الغازات كمصدر من مصادر الطاقة منذ زمن ليس بالقصير ، خاصة تلك الغازات الناتجة من الفحم ، مثل غاز الفحم وغاز الماء .

وقد استخدم الانسان الغاز الطبيعي وقودا في السنوات الاخيرة ، واعتمد عليه جزئيا في بعض أعمال التدفئة والتسخين ، كما استعمله في بعض الصناعات وفي توليد الكهرباء .

وقد عرف الانسان الغاز الطبيعي منذ زمن بعيد ، وربما كان ذلك في عصور ما قبل التاريخ ، فكثيرا ما كان هذا الغاز يتصاعد في الهواء من شقوق صغيرة في سطح الأرض ، ولكنه لم يعرف قيمته وقوائده ، ولا فكر في استخدامه في ذلك الحين .

ولابد أن انسان ذلك العصر كان يدهش كثيرا عند سماعه لصوت هذا الغاز عند اندفاعه من هذه الشقوق ، وهو صوت واضح وملحوظ يشبه الفحيح أو الصفير ، ولابد أنه كان يصاب بشيء من الخدر والدوار عند استنشاقه للهواء الممزوج بهذا الغاز .

وقد دفعت هذه الظواهر انسان ذلك الزمان إلى الظن بأنه في حضرة قوة خارقة من قوى ماوراء الطبيعة ، فأقام المعابد حول مصادر هذا الغاز ، وقدم لها الهدايا والقرابين .

ويتقدم الزمن زادت معرفة الانسان ونمت خبراته في كل مجال ، فعرف أن هذا الغاز المتصاعد من باطن الأرض يقبل الاشتعال ، ومن المحتمل أن اشتعال هذا الغاز قد حدث بطريق الصدفة وأثار الدهشة والذعر في نفوس الناس ، وربما كانت نار المجوس نتيجة لاشتعال الغاز الطبيعي ، وهي النار التي ظلت مشتعلة لمدة طويلة ، وعيدها الفرس ريحا من الزمان .

ويحدثنا التاريخ أن أهل الصين كانوا من أوائل من إستغل قابلية الغاز الطبيعي للاشتعال ، فاستعملوه وقودا منذ عام ٩٤٠ قبل الميلاد ، وتمكنوا من نقل

هذا الغاز في أنابيب من البامبو من مصادره الأرضية إلى شاطئ البحر ، وهناك أشعلوه واستخدموه في تبخير ماء البحر للحصول على الملح .

وعلى الرغم من ذلك ، فقد بقى أغلب أهل ذلك العصر في كثير من البلدان ، على جهل تام بخصائص هذا الغاز ، وكانوا ينظرون اليه على أنه أحد أعاجيب الطبيعة .

## وجود الغاز الطبيعي واستخداماته

لاتوجد حاليا فكرة واضحة عن الكيفية التي نشأ بها هذا الغاز في باطن الأرض .

ونظرا لوجود هذا الغاز ، في أغلب الأحوال ، مصاحبا لزيت البترول ، فقد أصبح من المعتقد أن الغاز الطبيعي يمثل مرحلة من المراحل التي مرت بها بقايا الكائنات الحية في أثناء تحولها إلى زيت البترول بتأثير الضغط المرتفع والحرارة العالية في باطن الأرض .

وقد اكتشفت حديثا مكان منفصلة للغاز الطبيعي لا علاقة لها بمكان البترول ، وقدمت نظرية أخرى ترجح أن هذا الغاز قد تكون في الزمن القديم من اتحاد الهيدروجين بالكربون ، ثم دفنت الهيدروكربونات المتكونة في باطن الأرض ، وتحول جزء منها إلى بترول وتحول جزء آخر إلى غاز طبيعي تسرب إلى مكان خاصة به .

وهناك نظرية أخرى تفترض أن الغاز الطبيعي الذي يتكون أغلبه من غاز الميثان ، يوجد على هيئة هدرات «hydrates» في أعماق الأرض في المناطق الباردة وتحت قيعان البحار .

وهدرات الغاز ما هي إلا تجمعات جزيئية منتظمة «clathrates» تترتب فيها جزيئات الماء على هيئة شكل ثلاثي الأبعاد يشبه القفص «cage» تنتظم في داخله جزيئات الغاز ، ولا يحدث هذا الترتيب الا في درجات الحرارة المنخفضة وتحت ضغط مناسب .

وقد عرفت هدرات الغاز منذ زمن بعيد يرجع الى عام ١٨١٠ عندما لاحظ عالم بريطاني يدعى « همفري ديفي » « Humphrey Davy » أن غاز الكلور يكون هدرات صلبة مع الماء عند انخفاض درجة حرارة الغاز الرطب إلى ٩° م .

كذلك عرفت هذه الهدرات بالنسبة للغاز الطبيعي منذ عام ١٩٣٠ عندما

حدث انسداد في أنابيب الغاز الطبيعي بالمناطق القطبية وفسرت هذه الظاهرة على أن الغاز الطبيعي غير تام الجفاف يكون هدرات صلبة مع الماء عند انخفاض درجة الحرارة تحت الصفر وتحت ضغط مناسب ، وأن هذه الهدرات الصلبة هي التي تسبب انسداد الانابيب .

وقد أثبتت البحوث الحديثة أن ظاهرة تكون هدرات الغاز يتكرر حدوثها في كل مكان طالما كانت درجة الحرارة منخفضة وكان الضغط مناسباً ، حتى إنه ثبت الآن أن مذهب هالي ما هو إلا هدرات صلبة من غاز ثاني أكسيد الكربون والماء .

كذلك تبين أن جزيئات الغازات الصغيرة مثل الميثان والايثان ، يمكن أن تتحول في وجود جزيئات الماء عند درجة الحرارة المنخفضة والضغط العالي ، إلى هدرات صلبة يطلق عليها « الطاقة المتجمدة » .

وتدور حالياً عدة دراسات حول هدرات الغاز الطبيعي في كل من الاتحاد السوفيتي واليابان والولايات المتحدة والنرويج والمانيا ، ويقدر المخزون من الغاز الطبيعي في باطن الأرض على هيئة هذه الهدرات الصلبة بنحو ١٠٠٠ تريليون متر مكعب ( ١٠<sup>١٢</sup> م<sup>٣</sup> ) ، ولو أمكن استغلال كل هذا القدر من الغاز المخزون ، لقضى ذلك تماماً على ما نتوقعه من نقص للطاقة في مستهل القرن القادم .

وقد بينت الدراسات أن هدرات الغاز الطبيعي توجد في الأماكن التي تنتشعب فيها الصخور بالماء والغاز ، تحت ظروف خاصة .

وتتوزع المناطق التي يكون فيها كل من الضغط ودرجة الحرارة مناسبين لتكوين الهدرات على مساحة شاسعة من سطح الأرض ، وهي تغطي على وجه التقريب نحو ٢٥٪ من سطح القارات ، ونحو ٩٠٪ من المحيطات ، وأهم مناطق هدرات الغاز المعروفة اليوم تقع في سيبيريا الشرقية بالاتحاد السوفيتي وحول شواطئ الاسكا الشمالية وكذلك أمام ساحل كاليفورنيا بالولايات المتحدة .

وتوجد هدرات الغاز الصلبة في سيبيريا على هيئة طبقة سمكها نحو ٨٤ متراً ، ودرجة حرارتها نحو ١٠° مئوية ، ويوجد أسفل منها طبقة أخرى من الغاز الطبيعي الطليق .

وتبلغ نسبة الأملاح المعدنية في طبقة الهدرات نحو ١,٥٪ ، ويتكون الغاز الحر المتصاعد منها من ٩٨,٦٪ ميثان ، ٠,١٪ ايثان ، ٠,١٪ بروجان ، وبعض الغازات الأخرى مثل ثاني أكسيد الكربون ( ٠,٥٪ ) ، والنيتروجين ( ٠,٧٪ ) ، وقد بدأ استغلال هذه المنطقة في الاتحاد السوفيتي منذ عام ١٩٧٠ .

ويختلف تركيب الغاز الطبيعي من مكان لآخر ، وهو في أغلب الحالات يتكون من خليطاً من الهيدروكربونات ، ولكنه قد يتكون من نسبة عالية جداً من غاز الميثان كما في حقل « رافينا » « Ravenna » بإيطاليا ، فهو يتكون من الميثان بنسبة ٩٩,٥٪ بالحجم .

وهناك مكان للغاز تقل فيها نسبة الهيدروكربونات وتزيد بها نسبة بعض الغازات الأخرى مثل غاز ثاني أكسيد الكربون وغاز النتروجين .

ومن أمثلة ذلك مكان الغاز الموجودة بالمكسيك في حقل « بانوكو إيبانو » « Panuco Ebano » ، وحقل « ميجيوفو » « Megeovo » في سيبيريا الشرقية ، وبعض الحقول الأخرى في المجر ، فالغاز الطبيعي المتصاعد من هذه الحقول يحتوى على نسبة عالية من غاز ثاني أكسيد الكربون . وقد تصل نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون الى حد كبير في حقل الغاز الطبيعي ، فهي تصل إلى ٩٥٪ بالحجم في « هانوفر » « Hanover » بالمانيا .

كذلك هناك مكان قد تحتوى على غاز النتروجين فقط كما في حقل « فولجا - اورال » « Volga - Oural » بالاتحاد السوفيتى ، وهى لاتعد من مكان الغاز الطبيعي الذى نقصده هنا فهى لاتصلح كوقود لان غاز النتروجين لايقبل الاشتعال .

ولاتوجد مكان طبيعية تحتوى على غاز كبريتيد الهيدروجين فقط ولكن هذا الغاز قد يوجد مختلطاً بنسب متفاوتة بالغاز الطبيعي في بعض الاحوال .

ومن أمثلة هذه الحالة الأخيرة بعض مكان الغاز الطبيعي الموجودة بجنوب فرنسا بجوار جبال البرانس ، وهى مكان ضخمة يقدر ما بها من غاز طبيعى بنحو ٢٥٠ مليار متر مكعب ، ويتكون الغاز المتصاعد من هذه المكان من غاز الميثان بنسبة ٦٩٪ بالحجم ومن نحو ١٥٪ بالحجم من غاز كبريتيد الهيدروجين . كذلك توجد بعض مكان الغاز الطبيعي في الاتحاد السوفيتى يحتوى الغاز المتصاعد منها على نحو ٢٥٪ من غاز كبريتيد الهيدروجين .

وأغنى مناطق العالم بالغاز الطبيعى هى سيبيريا الشرقية بالاتحاد السوفيتى ومنطقة الشرق الأوسط في ايران والسعودية وقطر ، وبعض مناطق أمريكا الشمالية ، وتمثل هذه المناطق معا نحو ثلاثة أرباع المخزون العالمى من الغاز الطبيعى .

ويوجد الغاز الطبيعى عادة في الطبقات المسامية في باطن الأرض ولذلك نجد أن المستكشفين يبحثون دائماً عن وجود مثل هذه الطبقات في كل مكان سواء في

الصحراوات أوتحت مياه البحر وفي المستنقعات ، أوتحت الثلوج في المناطق القطبية كما في الاسكا .

ويستخدم الغاز الطبيعي اليوم كمصدر للطاقة في كثير من الدول ، وهو يشغل المرتبة الثالثة بعد زيت البترول والفحم .

ويستعمل الغاز الطبيعي في جمهورية مصر العربية في بعض الصناعات كما في مصنع سماد اليوريا بأبى قير ، كما يستعمل في اغراض الطهو والتسخين بالمازل في القاهرة الكبرى عن طريق شبكة من الانابيب .

وقد بدأ استخدام الغاز الطبيعي كوقود في الولايات المتحدة عام ١٨٢٠ ، ولكنه لم يصبح منافسا قويا للغازات الاخرى المصنعة من الفحم والبترول إلا في القرن العشرين .

ويستخرج الغاز الطبيعي من باطن الارض بنفس طريقة الحفر المستخدمة في استخراج البترول ، والتي سبق ذكرها .

وقد تم حفر أول بئر للغاز الطبيعي في الولايات المتحدة عام ١٨٢١ بجوار «فريدونيا» بنيويورك ، وكانت هذه البئر سطحية ، إذ كان عمقها لايزيد على ثمانية أمتار .

وفي عام ١٨٢٦ تم حفر بئر أخرى للغاز الطبيعي على ضفاف بحيرة ابرى ، ونقل الغاز المتصاعد من هذه البئر بانابيب من الخشب لمسافة نحو كيلو متر ، لاضاءة فنار على شاطئ البحر .

كذلك استخدم الغاز الطبيعي عام ١٨٤٠ بالولايات المتحدة لتبخير مياه البحر للحصول على ملح الطعام .

وفي عام ١٨٥٨ قامت بالولايات المتحدة مؤسسة خاصة لتوزيع هذا الغاز الطبيعي على المنازل وعلى بعض المؤسسات التجارية الأخرى .

وعند حفر أول بئر من آبار البترول بالولايات المتحدة بالقرب من مدينة تيتوسفيل عام ١٨٥٩ ، تصاعد بعض الغاز الطبيعي مع زيت البترول من باطن الأرض . وقد تسبب هذا الغاز في مضايقة القائمين على عملية الحفر ، اذ لم تكن له فائدة عندهم ، وكانت طريقتهم الوحيدة للتخلص من هذا الغاز هي احراقه عند رأس البئر ، وبهذا ضاعت عليهم ملايين الامتار المكعبة من هذا الغاز النافع .

ويستعمل الغاز الطبيعي اليوم بكثرة ، فقد بلغ انتاج هذا الغاز في الولايات المتحدة عام ١٩٤٠ نحو ٩٠ مليار متر مكعب ، وزاد انتاجه بعد ذلك حتى بلغ ٣٠٠

مليار متر مكعب في عام ١٩٥٥ ، ومن المقدّر أن يبلغ استهلاك هذا الغاز على المستوى الدولي نحو ٢٨٠٠ مليار متر مكعب في العام في أوائل القرن القادم حتى عام ٢٠٢٠ م .

ويضيع جزء كبير من الغاز الطبيعي دون فائدة تذكر ، فتحرق منه كميات هائلة في حقول البترول ، وتفقّد منه كميات أخرى في أثناء استخراج البترول ، أو يعاد حقنها تحت الأرض لزيادة ضغط المكامن .

ويقدر أنه منذ بداية هذا القرن حتى عام ١٩٨٠ قد تم إحراق نحو ٤٠٠٠ مليار متر مكعب من الغاز ، وأعيد حقن نحو ٢٧٠٠ مليار متر مكعب أخرى في باطن الأرض .

وهناك محاولات مستمرة اليوم لاكتشاف حقول جديدة من الغاز الطبيعي حتى يمكن مجابهة الاستهلاك الكبير الذي يتزايد يوما بعد يوم ، والذي يندّر بنفاد هذا الغاز في أوائل القرن الحادى والعشرين .

والغاز الطبيعي النقى لا لون له ولا رائحة ، وهو يصلح للاستخدام وقودا بطريقة مباشرة ، أى يستعمل كما هو دون معالجة ، وعادة ما تضاف إلى هذا الغاز إحدى المواد العضوية ذات الرائحة المميزة حتى يتنبه الناس لأى تسرب يحدث في خطوط الانابيب التى تنقل هذا الغاز ، وذلك كى يصبح استعمال هذا الغاز أكثر أمانا .

وعندما يكون الغاز الطبيعي مصاحبا للبترول في مكانه ، فانه غالبا ما يكون محملا بأبخرة بعض مكونات البترول سهلة التطاير مثل الجازولين .

ويتم فصل أبخرة الجازولين من الغاز الطبيعي بضغطه وتبريده فتتحول أبخرة الجازولين إلى سائل يتم فصله عن الغاز ، ويضم بعد ذلك إلى الجازولين المستخدم وقودا للسيارات .

وعند احتواء الغاز الطبيعي على بعض الغازات غير المرغوب فيها مثل غاز ثانى أكسيد الكربون ، أو غاز كبريتيد الهيدروجين ، فانه يجب إزالة هذه الشوائب من الغاز قبل استعماله .

وعادة ما يمرر مثل هذا الغاز في أبراج خاصة تعرف باسم « أبراج الغسيل » يدفع فيها الغاز من فتحات في أسفلها ليقابلها رزاز من محلول هيدروكسيد الصوديوم يتساقط من قمة هذه الأبراج . ويقوم محلول هيدروكسيد الصوديوم بامتصاص مركبات الكبريت الضارة وغاز ثانى أكسيد الكربون المختلطة بالغاز الطبيعي ، ويصبح بعد ذلك صالحا للاستعمال .



## نقل الغاز الطبيعى

اقيم أول خط أنابيب لنقل الغاز الطبيعى بالولايات المتحدة عام ١٨٥٨ ، ولكن أول خط طويل من الانابيب لنقل الغاز أنشئ بها عام ١٨٧٠ ، واستعمل هذا الخط لنقل الغاز الطبيعى لمدة عامين ، ثم توقف به العمل بعد ذلك . وقد كان طول هذا الخط نحو ٢٥ كيلومترا ، واستخدمت فى انشائه أنابيب من خشب الصنوبر الابيض .

وقد استخدمت الانابيب المصنوعة من الحديد بعد ذلك بفترة قصيرة ، أى فى عام ١٨٧٢ ، وكان قطر الانابيب المستخدمة نحو ٥ سنتيمترات ، ثم انشئت خطوط اخرى لنقل الغاز الطبيعى عام ١٨٩٠ ، واستعملت فيها أنابيب من الحديد ذات اقطار أكبر ، ولكنها لم تزد على ٢٠ سنتيمترا .

وابتداء من عام ١٩٢٥ ، بدأ استخدام خطوط طويلة من الانابيب الصلب لنقل الغاز الطبيعى ، وذلك بعد تقدم صنع الانابيب الملحومة بالكهرباء :

وقد بدأ الغاز منذ ذلك الحين يصل إلى كثير من المدن فى الولايات المتحدة ، وفى نهاية الاربعينات تم انشاء خط أنابيب خاص لنقل البترول من حقول تكساس إلى نيويورك ، ويستخدم هذا الخط حاليا لنقل الغاز الطبيعى .

وتستعمل الان فى نقل الغاز الطبيعى خطوط من انابيب الصلب تزيد أقطارها فى بعض الأحيان على المتر .

ويتكون خط الانابيب عادة من عديد من أطوال الانابيب ، ويتم لحام هذه الانابيب بعضها ببعض بإحكام حتى لايتسرب منها الغاز ، ثم تغطى هذه الانابيب من الخارج بنوع خاص من الورق المبلل بالقار لحمايتها من رطوبة الارض وما تحدثه هذه الرطوبة من تاكل فى جدرانها .

وينظف خط الانابيب من الداخل بالآلة خاصة تحمل مجموعة من الفرش ، وتدفع هذه الآلة بواسطة الهواء المضغوط داخل خط الانابيب كما تدور الفرش بقوة لتنظيف السطح الداخلى للانابيب من كل ما قد يكون قد علق به من شوائب أو فتات .

وبعد أن تنتهى عملية تنظيف السطح الداخلى للانابيب ، يغطى سطحها الخارجى بالقار ، ويتم انزالها فى خنادق خاصة على عمق قليل من سطح التربة وتغطى جيدا ببقايا الحفر .

ويمكن وضع خط الانابيب في قاع البحر ، وهناك خط من هذا النوع يمتد تحت الماء على طول شواطئ ولاية لويزيانا بالولايات المتحدة ، ويبلغ طوله نحو ٩٠ كيلو مترا ، وينقل الغاز الطبيعي من خليج المكسيك .

وعادة ما يتدفق الغاز الطبيعي بسرعة كبيرة في خط الانابيب تحت ضغطه الطبيعي الذي يخرج به من البئر ، وتبلغ سرعة جريانه في الانابيب المعتاد نحو ٩٥ - ١١٥ كيلو مترا في الساعة ، ولكن هذه السرعة العالية تقل تدريجيا بازدياد المسافة التي يقطعها الغاز ، فهو يفقد جزءا من سرعته نتيجة لاحتكاكه المستمر بالسطح الداخلي للانابيب .

وعادة ما تقام محطات تقوية على مسافات متباعدة على طول خط الانابيب التي تنقل الغاز الطبيعي ، تكون مهمتها زيادة ضغط الغاز وزيادة سرعة جريانه في الانابيب .

ويعتمد عدد محطات التقوية على طول المسافة التي يقطعها خط الانابيب ، وهي تقام عادة على خطوط الانابيب الطويلة جدا ، ويفصل كل محطة عن الاخرى نحو ٣٠٠ كيلومتر ، وتدار أغلب هذه المحطات بطريقة آلية ، وتتخذ بها احتياطات مشددة لمنع حدوث الحرائق والانفجارات .

وعند ضغط الغاز بالمضخات لزيادة سرعته في الانابيب ترتفع درجة حرارته إلى حد ما ، ولذلك يتم تبريد هذا الغاز في أبراج خاصة إلى درجة الحرارة المعتادة ، ثم يعاد حقنه في خط الانابيب .

وينقل الغاز الطبيعي كذلك بين القارات ، وهو ينقل في هذه الحالة على هيئة غاز مسال .

ويتم نقل الغاز بهذه الصورة من شواطئ الجزائر إلى شواطئ فرنسا عبر البحر الأبيض المتوسط ، كما ينقل الغاز الطبيعي كذلك من سواحل الجزائر إلى السواحل الشرقية للولايات المتحدة عبر المحيط الاطلنطي .

وتقتضى هذه الطريقة وجود ناقلات خاصة بها خزانات معزولة ومنخفضة الحرارة تستطيع الاحتفاظ بالغاز في حالة السيولة .

ويوجد حاليا اسطول ضخم من هذه الناقلات يزيد عدد سفنه على ثلاثين سفينة ، تستطيع كل منها أن تحمل نحو ١٢٥ الفا من الامتار المكعبة من الغاز الطبيعي السائل في خزاناتها ، وهي تعطى عدة بلايين من الاقدام المكعبة من الغاز عندما يعود إلى طبيعته الغازية في درجة الحرارة العادية .

كذلك يتطلب الأمر وجود تجهيزات خاصة لإسالة الغاز الطبيعي في البلد المصدر للغاز ، وقد أقيم لهذا الغرض مصنع لإسالة الغاز في « أريزو » ، بالجزائر يتم فيه ضغط الغاز وتبريده لتسييله حتى يصل حجمه إلى نحو جزء من ستمائة جزء من حجمه الأصلي في درجة حرارة الغرفة .

كذلك يقتضى الأمر وجود تجهيزات أخرى في البلد المستورد للغاز الطبيعي ، يحول فيها الغاز المسال إلى غاز يمكن استعماله مباشرة ، وعادة ما يتم ذلك بامرار الغاز المسال في مبادلات حرارية خاصة يتم تدفئتها بتيار من المياه السطحية الدافئة للبحر .

## طرق تخزين الغاز الطبيعي

يختلف استهلاك الغاز الطبيعي من فصل لآخر خلال العام ، فيزداد استهلاكه كثيرا في فصل الشتاء لاستخدامه في التدفئة المنزلى ، على حين يقل استخدامه كثيرا في فصل الصيف .

كذلك يختلف استهلاك الغاز الطبيعي في الاوقات المختلفة لليوم الواحد ، فيرتفع استهلاكه في المنازل في وقت الظهيرة اثناء تحضير وجبات الطعام بينما يقل استهلاكه عن ذلك في الصباح وفي المساء .

ويقتضى هذا التفاوت في استهلاك الغاز الطبيعي ضرورة وجود طريقة عملية يمكن بها تخزين كميات وافرة من هذا الغاز لاستخدامها وقت الحاجة لمجابهة الاحتياجات المطلوبة في اوقات الذروة سالفة الذكر .

ولا يمكن تخزين الغاز الطبيعي في خزانات خاصة تقام في المدن ، فليس من المستطاع توفير عدد من الخزانات تسع ملايين الامتار المكعبة المطلوبة من هذا الغاز ، فبجانب التكلفة المرتفعة لهذه الطريقة ، هناك خطر حدوث الحرائق والانفجارات نتيجة لبعض الحوادث التى قد تقع لهذه الخزانات .

وقد ابتكرت طريقة سهلة وقليلة التكاليف لتخزين الغاز الطبيعي ، فيتم الان تخزينه داخل نفس خطوط الانابيب المستخدمة في نقله ، وذلك برفع ضغطه تدريجيا ، فتتكدس منه كميات كبيرة في هذه الخطوط وتبقى جاهزة للاستعمال عند الضرورة .

وتعرف هذه الطريقة باسم « حشو الخط » « Line Pack » وهو اسم مجازى يعنى تخزين الغاز في خط الانابيب .

وتتحمل الانابيب التى تستخدم في نقل الغاز الطبيعي ضغوطا عالية ، فهى

تصنع من الصلب ، ولذلك يمكن تخزين كميات كبيرة من الغاز في هذه الخطوط دون أن تتأثر ودون المساس بعامل الأمان .

وتوفر هذه الطريقة كثيرا من التكاليف ، فهي لا تتضمن إقامة أى خزانات أو منشآت سطحية ولاحتياج إلى استئجار مساحات خاصة لهذه المنشآت ، كما أن الغاز المخزن في خط الانابيب يمكن عادة استعماله قورا في المدن والمصانع .

وهناك طرق أخرى لتخزين الغاز الطبيعي ، فقد يخزن الغاز تحت سطح الأرض وذلك بدفعه إلى بعض التجاويف أو الصخور المسامية ذات الحجم المعلوم ويشترط أن تكون معروفة الحدود - والا تسرب منها الغاز إلى طبقات أخرى أو تسرب من شقوق في سطح الأرض .

وأفضل الأماكن لتخزين الغاز الطبيعي تحت سطح الأرض هي مكامن البترول القديمة أو حقول البترول التي نضبت من قبل .

ويتم ذلك باستخدام محطة ضخ خاصة تقوم بدفع الغاز من خط الانابيب وضغطه في خلال الصخور المسامية للحقل القديم . وعند الاحتياج إلى استعمال هذا الغاز ، يعاد ضخه من باطن الأرض إلى خط الانابيب مرة أخرى .

وتعرف هذه الطريقة بطريقة التخزين الأرضي وهي أقل تكلفة بكثير من تخزين الغاز في خزانات فوق سطح الأرض .

وعادة ما يكون ضغط الغاز في خطوط الانابيب مرتفعا ولذلك لا يمكن استخدامه مباشرة في المصانع أو في المنازل ، بل يجب دفعه أولا إلى مجموعة من الخزانات متوسطة الحجم لتقليل ضغطه ولتعديل درجة حرارته الى حدود مناسبة تجعله صالحا للاستعمال في الأجهزة المنزلية وفي الأغراض الصناعية .

والغاز الطبيعي ذو قيمة حرارية مرتفعة ، ولذلك فهو يعتبر وقودا جيدا . وعادة ما يستخدم الغاز الطبيعي وحده لهذا الغرض ، ولكنه قد يخلط في بعض الأحيان ببعض الغازات الأخرى مثل غاز الفحم أو بعض الغازات الأخرى التي تنتج من البترول ، خاصة عندما يزداد الطلب كثيرا على الغاز الطبيعي في بعض المدن في أوقات الذروة أو في فصل الشتاء ، ويكون الهدف من هذا الخلط هو تعزيز كمية الغاز الطبيعي التي توزع على مختلف المنازل والمؤسسات .

ولا توجد حاليا حدود لاستخدام الغاز الطبيعي ، فهو يستعمل اليوم في كل مكان وفي مختلف الأغراض ، فيستعمل في المنازل في عمليات التسخين والطهو والتكييف ، ويستعمل في الصناعة في توليد الطاقة في كثير من العمليات ، ويستعمل

ايضا في محطات القوى لتوليد الكهرباء ، كما يستعمل كمادة اولية في تحضير بعض المواد الكيميائية مثل كحول الميثانول ( الكحول المثيلي ) ، وفي تحضير السناج المستخدم في صناعة المطاط وفي غير ذلك من الأغراض .

ومن الملاحظ أن كميات الغاز الطبيعي المخزنة في باطن الأرض والمعروفة بصفة مؤكدة ، قد بدأت في التناقص في كثير من البلدان ، وذلك لأن استهلاك هذا الغاز قد زاد مؤخرا بشكل كبير .

ويتضح من ذلك أنه يجب الاهتمام بالبحث والتقيب عن الغاز الطبيعي لاستكشاف مزيد من مكامنه الطبيعية التي يمكن استخدامها لمجابهة الاحتياجات المتزايدة اليه ، خاصة وهو يمثل واحدا من المصادر النظيفة للطاقة والتي لاينتج عن استخدامها إلا أقل تلوث ممكن .



## الطاقة النووية

عرف الانسان منذ قديم الزمان أن المادة ليست شيئا متصلا ، ولكنها تتكون من وحدات صغيرة جدا لا تقبل الانقسام .

وقد كان الفيلسوف الاغريقى « ديموكريتس » « Democritus » هو أول من نادى بهذه الفكرة فى القرن الخامس قبل الميلاد .

وقد افترض ديموكريتس أن جميع المواد ، مهما تنوعت أصنافها وأشكالها ، يمكن تفتيتها إلى جسيمات متناهية فى الصغر لا يمكن تقسيمها بعد ذلك إلى ما هو أصغر منها ، وأطلق على هذه الجسيمات الاساسية للمادة اسم « اقوم » « Atom » وهى كلمة مشتقة من كلمتين أغريقيتين وتعنى ما لا يقبل الانقسام ، وهى ما نعرفه نحن اليوم باسم الذرة .

وقد كانت الفكرة الشائعة فى ذلك الزمان أن الكون يتكون من عناصر أربعة ، هى الماء والهواء والارض والنار ، وقد نادى بهذه الآراء الفيلسوف الاغريقى « امبيدوكليس » « Empedocles » وهى النظرية التى قدمها أرسطو فيما بعد باسم نظرية العناصر الاربعة .

وقد سادت نظرية العناصر الاربعة أكثر من الفى عام ، واستمر الاعتقاد بصحتها حتى بداية القرن الخامس عشر .

وقد تنبه الناس فى بداية القرن السادس عشر إلى الأفكار التى نادى بها من قبل الفيلسوف الاغريقى ديموكريتس ، وبدأ بعض علماء ذلك الزمان أمثال جاليليو وفرانسيس بيكون وديكارت وبويل ونيوتن ، يتحققون فى تجاربهم من أن المادة ليست شيئا متصلا ، ولكنها تتكون من وحدات متناهية فى الصغر ومحددة التركيب .

وفى بداية القرن التاسع عشر ، قدم الكيميائى البريطانى « جون دالتون » « John Dalton » ( ١٧٦٦ - ١٨٤٤ ) تصورا للذرة كما نعرفها اليوم ، وافترض أنها أصغر جزء من العنصر يستطيع أن يحمل صفات هذا العنصر ، وأن

جميع ذرات العنصر الواحد تكون متشابهة تماما ، ولكنها تختلف عن ذرات بقية العناصر الأخرى .

وقد كان هذا التصور هو بداية قصة الذرة التى عرفها العالم ، وأولى الخطوات على ذلك الطريق الطويل من التجارب والبحوث التى شارك فيها رواد كبار أمثال « ج . ج . طومسون » و « رذرفورد » و « نيلز بوهر » ، التى ساهمت فى تقديم تصور أكثر دقة لتركيب الذرة .

## تركيب الذرة

الذرة جسيم متناه فى الصغر ، فأكبر ذرة لايتجاوز قطرها  $10^{-10}$  سم ، أى جزء من مائة مليون جزء من السنتمتر .

وتشبه الذرة فى تركيبها نظامنا الشمسى بوجه عام ، فتتكون كل ذرة من نواة مركزية مثل الشمس - تدور حولها مجموعة من الإلكترونات .

ونواة الذرة متناهية فى الصغر ، فلا يتجاوز قطرها أكثر من  $10^{-13}$  من السنتمترات ، أى جزء من عشرة مليون جزء من السنتمتر .

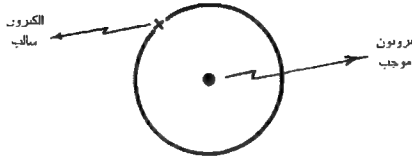
وتفصل النواة عن الإلكترونات مسافة كبيرة مثل تلك المسافة التى تفصل الشمس عن كواكبها ، فلوفرضنا أن إحدى الذرات الكبيرة قد زادت فى الحجم حتى شغلت مترا مكعبا ، فأننا سنجد أن نواة هذه الذرة التى يقل حجمها عن حجم رأس الدبوس ستشغل مركز هذا المكعب على حين تدور الإلكترونات فى الاطار الخارجى لهذا المكعب .

ويبدولنا من هذا الوصف أن ديموكريتس لم يكن موفقا عندما تصور أن الذرات عبارة عن جسيمات صغيرة لاتقبل الانقسام ، فقد رأينا أن الذرة ليست جسما مصمتا ، ولكنها تتكون من وحدات مختلفة فهى تتكون من نواة مركزية تدور حولها مجموعة من الإلكترونات .

ونواة الذرة أيضا ليست شيئا مصمتا ، فهى تتكون بدورها من نوعين من الجسيمات ، يعرف أحدهما باسم البروتونات ، وهى جسيمات تحمل شحنة موجبة ، ويسمى الآخر بالنيوترونات ، وهى جسيمات متعادلة .

ونظرا لأن الذرة فى حالتها العادية تكون متعادلة ، فإن عدد ما بها من الكثرونات سالبة يكون مساويا دائما لعدد ما بها من بروتونات موجبة ويعرف عدد الإلكترونات أو عدد البروتونات باسم العدد الذرى .





شكل ٤ - ١ ذرة الهيدروجين

ويقع وزن الذرة بأكمله تقريبا في نواتها ، وتتساوى أوزان كل من البروتونات والنيوترونات على وجه التقريب ، فتبلغ كتلة البروتون نحو  $1.6856 \times 10^{-24}$  من الجرامات ، بينما تبلغ كتلة النيوترون نحو  $1.6880 \times 10^{-24}$  من الجرامات .

أما كتلة الإلكترونات التي تدور حول النواة فهي أخف من ذلك بكثير ، فتبلغ كتلة الإلكترون نحو  $\frac{1}{1836}$  من كتلة البروتون ، ولذلك يعتبر وزن كل من البروتونات والنيوترونات ممثلا لوزن الذرة أو الوزن الذري .

ونظرا لصغر أوزان هذه الجسيمات فإننا نعبّر عن وزن كل من البروتون والنيوترون بالوحدة أي « ١ » . وأبسط الذرات وأخفها هي ذرة الهيدروجين ، فهي تتكون من بروتون واحد موجب الشحنة يمثل نواة الذرة ، ويدور حوله إلكترون واحد سالب الشحنة ، وبذلك يكون العدد الذري لذرة الهيدروجين  $= 1$  والوزن الذري  $= 1$  كذلك .

ويزداد العدد الذري عندما ننقل من عنصر لآخر بمقدار وحدة واحدة ، وذلك لأن كل ذرة تزيد على ما قبلها ببروتون موجب واحد ، والإلكترون سالب واحد ، ولكن الوزن الذري يعتمد على عدد كل من البروتونات والنيوترونات التي تشترك في تكوين نواة الذرة .

ولا يزيد عدد العناصر الموجودة طبيعيا على ٩٢ عنصرا ، وهي تبدأ بالهيدروجين وعدده الذري ١ ، ووزنه الذري واحد ( بنواته بروتون واحد ) ، وتنتهي باليورانيوم وعدده الذري ٩٢ ، أي أن بنواته ٩٢ بروتونا ، على حين أن وزنه الذري ٢٣٨ ، لأن بنواته ١٤٦ من النيوترونات ، ويتضح لنا من ذلك أن العدد الذري والوزن الذري للعنصر قد لا يتفقان .

ونحن نتعامل مع كثير من هذه العناصر كل يوم ، مثل الأكسجين

والنتروجين اللذين يوجدان في الهواء ، ومثل الفضة والذهب والنحاس والرصاص .

وهناك عدد آخر من هذه العناصر لا يوجد في الطبيعة ، وهي عناصر اصطناعية ، أى من صنع الانسان ، وتعرف باسم « عناصر ما بعد اليورانيوم » « Trans uranium elements » وهي عناصر ذات أعداد ذرية أعلى من اليورانيوم .

وتدخل الذرات في كثير من التفاعلات الكيميائية ، وهي تفعل ذلك عن طريق الالكترونات التى توجد بمداراتها الخارجية ، وتتكون من هذه التفاعلات كثير من المركبات المعروفة - مثل السكر وملح الطعام والجص والجير وما إليها .  
ولتدخل نواة الذرة في هذه التفاعلات ، ولتكون طرقا فيها على الإطلاق ، وكانت النواة حتى وقت قريب تعتبر شيئا بعيد المنال ، ولا يمكن التدخل في تركيبها .

وفي نهاية القرن التاسع عشر اكتشف أحد العلماء الفرنسيين ويدعى « انطوان بيكريل » « Anfoine Henri Becquerel » خاصية جديدة لبعض العناصر ، عرفت فيما بعد باسم خاصية النشاط الإشعاعى ، كما قام كل من بيبير ومارى كورى « Pierre and Marie Curie » بعد ذلك باكتشاف بعض العناصر المشعة مثل الراديوم والبولونيوم ، وقد كانت هذه هى أولى الخطوات في معرفتنا بأسرار النواة .

وفي بداية هذا القرن قام « ألبرت اينشتاين » « Albert Einstein » بوضع نظرية النسبية ، ووضع فيها بالمعادلات الرياضية أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة ، وعبر عن ذلك بمعادلته الشهيرة

$$ط = ك \times ع^2$$

حيث ط = الطاقة ، ك = الكتلة ، ع = سرعة الضوء .

وقد لغت اينشتاين الانظار بهذه المعادلة إلى ذلك الشيء الجديد الذى سمي فيما بعد بالطاقة النووية .

وقد ظلت هذه الافكار المتعلقة بتحطيم الذرة شيئا نظريا وفرضا رياضيا لا سند له من التجربة ولا دليل ، حتى قام اثنان من العلماء الالمان هما « اوتو هان » « Otto Hahn » و « فرتيز شتراسمان » « Fritz Strassmann » عام ١٩٣٩ ، باكتشاف أن ذرة اليورانيوم يمكن أن تنشط إلى نصفين تقريبا اذا قذفت بنيوترونات عالية الطاقة .

وقد كانت هذه التجربة هي أولى الخطوات التي فتحت الطريق على مصراعيه أمام الانسان ليستغل هذه الطاقة الهائلة الموجودة بنواة الذرات .

وقد تبين فيما بعد أن عنصر اليورانيوم يوجد على هيئة نظيرين يتفان في عدد الالكترونات وعدد البروتونات في ذرات كل منهما ، ويختلفان فقط في عدد النيوترونات الموجودة بنواة كل منهما .

واحد هذين النظيرين يعرف باسم يورانيوم ٢٣٥ ، والاخر يعرف باسم يورانيوم ٢٣٨ ، والاول منهما وهو يورانيوم ٢٣٥ هو الذى يقبل الانشطار ، بينما يبقى يورانيوم ٢٣٨ ثابتا لا يتأثر .

وقد اتضح أنه عند قذف اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترونات عالية الطاقة ، فان ذرة اليورانيوم تلتقط أحد هذه النيوترونات ليرتفع عدد ما بها من بروتونات ونيوترونات إلى ٢٣٦ ، وتحول بذلك إلى ذرة غير ثابتة سريعا ما تنشط نواتها إلى قسمين ، وينطلق في هذه العملية عدد من النيوترونات عالية السرعة ، يصل عددها إلى ثلاثة نيوترونات ، وتصل سرعتها إلى عدة الاف من الكيلومترات في الثانية .

ويصحب عملية انشطار النواة انطلاق قدر هائل من الطاقة يصل الى نحو ٢٠٠ مليون الكترون فولت ، تظهر على هيئة طاقة حرارية .

ويعد انطلاق النيوترونات في هذه العملية من اخطر العوامل التي تصاحب عملية الانشطار ، فهذه النيوترونات السريعة الناتجة ، سريعا ما تصطدم بنوى بعض ذرات اليورانيوم المجاورة ، وتؤدي الى انشطارها ، وخروج نيوترونات جديدة منها تؤدي بدورها الى انشطار ذرات جديدة وهكذا .

ويتضح من ذلك أن هناك فرصة كبيرة لتكرار عملية الانشطار وتتابعها بين ذرات العنصر المتجاورة ، وهى عملية تعرف باسم « التفاعل المتسلسل » « Chain Reaction » .

ويحتاج التفاعل المتسلسل الى وجود عدد كبير من الذرات المتجاورة ، أى أنه يحتاج إلى وجود قدر معين أو كمية معينة من المادة التي تقبل الانشطار ، وذلك حتى يمكن للنيوترونات الناتجة أن تصيب ذرات جديدة وتؤدي الى انشطارها ، وإذا لم يتوفر ذلك ، فان أغلب هذه النيوترونات سينطلق في الفراغ الواقع بين الذرات دون أن يصيب أى منها .

وعادة ما يعبر عن أقل قدر من المادة يصلح لنجاح عملية الانشطار باسم « الكتلة الحرجة » أى أنه عندما نأخذ كمية أقل من هذه الكمية لا يحدث . الانشطار ، ولكنه يحدث عندها وعند القيم الاعلى منها .

وتعتمد الكتلة الحرجة بصفة عامة على نوع المادة القابلة للانشطار وعلى شكل الكتلة المستخدمة منها .

وقد استطاع الانسان إطلاق هذه الطاقة الهائلة الناتجة من انشطار نواة الذرة ، واستخدمها في التدمير فصنع منها القنابل الذرية . ولكن المشكلة الرئيسية كانت في الكيفية التى يمكن بها التحكم في هذه الطاقة الهائلة واستخدامها في الأغراض السلمية ، وقد تمكن الانسان من ابتكار جهاز حقق له هذا الهدف وأطلق عليه اسم المفاعل النووى .

## المفاعل النووى

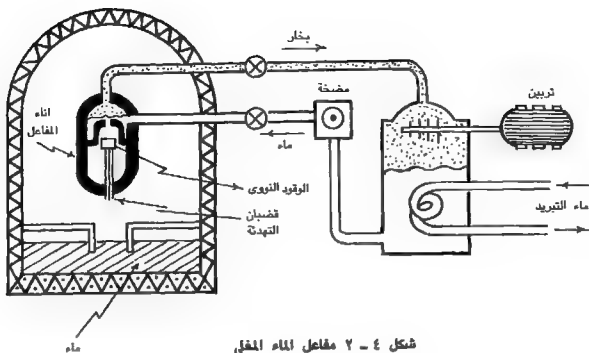
تتم عملية إنشطار النواة في جهاز خاص يعرف باسم المفاعل النووى . والوظيفة الرئيسية لهذا المفاعل هو التحكم في عملية الانشطار وإطلاق الطاقة الناتجة منها بصورة تدرجية حتى يمكن الاستفادة من هذه الطاقة وتجنب حدوث الأخطار .

وهناك نوعان من المفاعلات النووية . النوع الأول منها يستطيع أن يوفر قدرا من الاشعاع يمكن استعماله في صنع بعض النظائر المشعة التى تستعمل في البحوث أو تستعمل في علاج بعض الأمراض ، كما يمكن استخدامه لإنتاج بعض أنواع من الوقود النووى الأخرى .

والنوع الآخر من المفاعلات هو الذى يهمننا هنا ، وهو ذلك النوع من المفاعلات الذى يعطى طاقة على هيئة حرارة يمكن استغلالها في توليد البخار وفى بعض الأغراض الصناعية وفى توليد الكهرباء .

ويتكون المفاعل عادة من وعاء ثقيل سميك الجدار ، يحتوى قلبه على الوقود النووى ، كما يحتوى أيضا على بعض المواد التى لها القدرة على أن تبطئ من سرعة النيوترونات الناتجة من عملية الانشطار وتهدئ من سرعة التفاعل المتسلسل ، ولذلك فهى تسمى عادة باسم « المواد المهدئة » « Moderants » . كذلك تناسب خلال قلب المفاعل إحدى المواد التى تنتقل إليها الحرارة المتولدة من الانشطار وتسمى هذه المواد باسم « المواد المبردة » « Coolants » ويمكن عن طريقها التخلص من الحرارة الزائدة الناتجة في قلب المفاعل من عملية الانشطار ، كما أنها تساعد على نقل هذه الحرارة إلى خارج المفاعل لاستغلالها في مختلف الأغراض .

ويجب التحكم في كل هذه العمليات بدقة متناهية ، ولذلك فعادة ما يكون



شكل ٤ - ٢ مفاعل الماء المخلي

بالمفاعل النووي جهاز مركزي للتحكم ولرابعة كل هذه العمليات ، كما أنه عادة ما تتخذ إجراءات أمن صارمة يتم الالتزام بها كل الالتزام ، خاصة فيما يتعلق بتناول المواد المشعة أو يتسرب الاشعاع في داخل المفاعل أو خارجه ، أو فيما يختص بالتخلص من النفايات النووية .

ويصحب التفاعل المتسلسل عادة زيادة كبيرة في الضغط ولذلك يجب أن يكون وعاء المفاعل معداً لتحمل الضغط العالي ، كما يجب أن تكون له القدرة على مقاومة عمليات التآكل التي قد تنتج من السريان السريع للمادة المبردة .

وتصنع أغلب المفاعلات النووية من الصلب الذي لا يصدأ ، وقد يصل سمك جدار الوعاء إلى نحو خمسة عشر سنتيمتراً ، وعادة ما يحيط بهذا الوعاء جدار آخر سميك من الاسمنت لامتصاص ما قد يتسرب من النيوترونات أو من بعض الاشعاعات الاخرى .

ويستعمل الماء عادة في تبريد المفاعلات النووية ، ويدفع الماء من قاع المفاعل ليدخل الى قلبه محيطاً بالوقود النووي وملامساً له ، فترتفع درجة حرارة الماء ويتحول إلى بخار يستعمل في إدارة التربينات وتوليد الكهرباء .

وتوضع في قلب المفاعل قضبان تحكم تصنع من مواد خاصة مثل البورون أو الكادميوم ، وتعمل هذه القضبان على امتصاص النيوترونات ، ويمكن برفعها

أو إنزالها في قلب المفاعل ضبط التفاعل المتسلسل وتنظيمه ، والتحكم في كمية الطاقة التي يولدها المفاعل .

## الوقود النووي

عادة ما يستعمل اليورانيوم ٢٣٥ كوقود في المفاعلات النووية ، الا أنه يمكن كذلك استعمال أنواع أخرى من الوقود مثل اليورانيوم ٢٣٣ والبلوتونيوم ٢٣٩ .

وتحتوي خامة اليورانيوم الموجودة طبيعياً على اليورانيوم ٢٣٨ ولكن اليورانيوم النقي والمستخرج من الخامة الطبيعية يحتوى على قدر ضئيل من اليورانيوم ٢٣٥ ، ولاتزيد نسبته عادة على ٠,٧٪ .

ولا يوجد البلوتونيوم في الطبيعة ، ولكنه فلز من صنع الانسان ، وهو يتكون عند قذف ذرة اليورانيوم ٢٣٨ بنيوترونات عالية الطاقة .

وتتحول ذرة اليورانيوم ٢٣٨ عندما تمتص أحد هذه النيوترونات إلى يورانيوم ٢٣٩ ، وهو نظير غير ثابت ، وسرعان ما تتحلل هذه الذرة الجديدة إلى بلوتونيوم ٢٣٩ ، وهو عنصر مشع وقابل للانشطار .

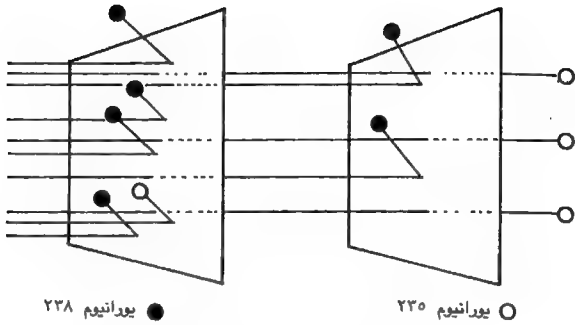
ويمكن تخصيز اليورانيوم ٢٣٣ بقذف عنصر الثوريوم ٢٣٢ ، وهو عنصر ثابت وغير مشع ، بواسطة نيوترونات عالية الطاقة ، وعندما تمتص ذرة الثوريوم ٢٣٢ أحد هذه النيوترونات ، تتحول إلى ثوريوم ٢٣٣ الذى ينحل بعد ذلك إلى اليورانيوم ٢٣٣ .

ويمكن استخدام بعض العناصر المشعة الأخرى التي تقبل الانشطار ، مثل عنصر البروتكتينيوم ، ولكن مثل هذه العناصر ليست في صلاحية العناصر الثلاثة السابقة .

واليورانيوم ٢٣٥ هو أكثر هذه العناصر استعمالاً في الوقت الحاضر ، ولا يستعمل العنصر النقي عادة ، بل يمكن استخدام اليورانيوم المعتاد الذي يحتوى على ٠,٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، كما يمكن استعمال اليورانيوم المخصب « enriched » والذي قد تصل فيه نسبة اليورانيوم ٢٣٥ إلى نحو ٤٪ .

وتلجأ بعض الدول الى عملية تخصيب اليورانيوم لرفع نسبة مابه من النظير المشع اليورانيوم ٢٣٥ .

وتتم عملية التخصيب عادة بطريقة « الانتشار الغازى ، Gaseous Diffusion » ، وهى تتلخص في تحويل فلز اليورانيوم النقي ، الذى يتكون من



شكل ٤ - ٣ طريقة الانتشار الغازي لتخصيب اليورانيوم

النظيرين ، يورانيوم ٢٣٨ ، ويورانيوم ٢٣٥ ، إلى مركب سداسي فلوريد اليورانيوم « Uranium Hexafluoride  $UF_6$  » وهو مركب يمكن تبيخيره بسهولة وتحويله إلى غاز ، ثم يدفع هذا البخار أو الغاز في خلال مجموعة من المرشحات ذات المسام الدقيقة .

ونظرا لأن ذرات اليورانيوم ٢٣٥ أصغر قليلا من ذرات اليورانيوم ٢٣٨ ، فإن قدرا كبيرا من ذرات اليورانيوم ٢٣٥ يستطيع المرور خلال مسام المرشحات بالانتشار .

وبتكرار عملية الانتشار ، فإن الغاز الذي يتقدم في خلال المرشحات تزداد به نسبة الذرات الأصغر ، أي تزداد به نسبة ذرات عنصر اليورانيوم ٢٣٥ ، بينما تزداد نسبة اليورانيوم ٢٣٨ في الغاز المرتد من هذه المرشحات .

وقد أمكن بهذه الطريقة إنتاج يورانيوم يحتوى على تركيزات عالية من اليورانيوم ٢٣٥ . ويعتبر اليورانيوم الذى يحتوى على ٩٣,٥٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، فلزا تام التخصيب .

ولا يستعمل اليورانيوم تام التخصيب عادة الا في الحالات التى تتطلب أن يكون المفاعل صغير الحجم كما في المفاعلات المستخدمة في الغواصات أو في السفن النووية وما شابهها .

أما في حالة المفاعلات التجارية ، مثل تلك المفاعلات المستخدمة في توليد الكهرباء ، فليست هناك ضرورة ملحة لصغر حجم المفاعل ، وبذلك يمكن استعمال

أنواع من اليورانيوم أقل تخصصيا ، وهى أنواع أقل تكلفة من اليورانيوم تام التخصيب ، وذلك بسبب ارتفاع تكلفة عمليات الانتشار الغازى السابقة ، وبذلك يزداد سعر اليورانيوم كلما زادت درجة تخصيبه ، أى كلما زادت به نسبة اليورانيوم  $^{235}$  .

ويستعمل اليورانيوم المحتوى على ٢ - ٤٪ من اليورانيوم  $^{235}$  ، فى كثير من الحالات ، وهناك بعض المفاعلات التى تعمل باليورانيوم الطبيعى فقط الذى يحتوى على ٠,٧٪ من اليورانيوم  $^{235}$  ، ومثال ذلك بعض المفاعلات التى تعمل حاليا فى فرنسا وبريطانيا وكندا .

ولا يستعمل الوقود النووى مباشرة كما فى أنواع الوقود الأخرى ، ولكن يجب دائما إعداد هذا الوقود بعناية فائقة ، وعادة ما تشكل هذه الخطوة إحدى الصعوبات الرئيسية فى تكنولوجيا المفاعلات النووية .

ويجب إتخاذ كثير من الاحتياطات فى هذا المجال ، فذرات اليورانيوم تعطى عند انشطارها بعض الفتات المشعة ، ويجب الحرص الشديد لئلا تلوث هذه الفتات المشعة المادة المستعملة فى تبريد المفاعل ، ولذلك يجب وضع وقود اليورانيوم فى غلاف من المعدن ، يصنع عادة من الصلب الذى لا يصدأ أو من الألومنيوم ، أو من سبيكة خاصة من فلز الزركونيوم تعرف باسم « زركالوى » ، **« Zircaloy »** .

ويخدم هذا الغلاف غرضين أساسيين ، فهو يفصل الفتات المشع عن ماء التبريد ، ويمنع كذلك تآكل اليورانيوم بهذا الماء .

ويستعمل ثانى أكسيد اليورانيوم أحيانا فى بعض المفاعلات النووية بدلا من فلز اليورانيوم .

ويوجد ثانى أكسيد اليورانيوم " $UO_2$ " على هيئة مسحوق أسود ، ولا يمكن استعماله فى المفاعلات بهذه الصورة ، ولذلك فهو يضغط على هيئة أقراص أو قضبان قصيرة لا يزيد طولها على ١٢ مليمترا وقطرها نحو ثمانية مليمترات ، وتوضع هذه القضبان القصيرة بعد ذلك فى أنابيب يصل طولها إلى ٣ أو ٥ أمتار ، ثم تسد أطرافها .

ولا تمنع جدران هذه الأنابيب مرور النيوترونات ، وتجمع هذه الأنابيب عادة فى حزم ، وتحتوى كل حزمة على حوالى ٣٠ - ٣٠٠ وحدة وتزن كل حزمة نحو ١٤٠ - ٦٨٠ كيلو جراما .



وتعطي الحفنة الواحدة التي تملأ الكف من ثاني أكسيد اليورانيوم طاقة تكافئ الطاقة الناتجة من خمسة وثمانين طناً من الفحم .

## المواد المهدئة والمواد المبردة

تعتبر عملية التحكم في معدل التفاعل المتسلسل من أهم العمليات التي يجب السيطرة عليها بعناية كبيرة ، وعادة ما يستعمل الماء العادي أو الماء الثقيل أو الجرافيت في تهدئة التفاعل المتسلسل بإبطاء سرعة النيوترونات الناتجة من عملية الانشطار .

ويشبه الماء الثقيل الماء العادي ، إلا أن جزيء الماء الثقيل يتكون باتحاد الأكسجين مع نظير للهيدروجين يعرف باسم الديوتيريوم « Deuterium » وكثافته ٢ .

وعندما يصطدم النيوترون عالي الطاقة الناتج من عملية الانشطار بجزيئات هذه المواد ، فإنه يفقد كثيراً من طاقته ، ويشبه ذلك ما يحدث لكرات البلياردو عندما تصطدم بعضها مع بعض ، فالكرة السريعة تبطيء في سرعتها ، بينما تنتقل طاقتها الحركية إلى الكرات البطيئة الأخرى .

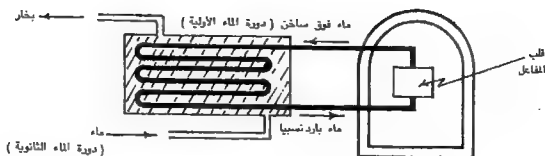
وينتج عن اصطدام النيوترونات بجزيئات الماء أو الجرافيت أن تتحول النيوترونات السريعة التي تبلغ سرعتها عدة آلاف من الكيلومترات في الثانية ، إلى نيوترونات بطيئة لزيادة سرعتها على عدة كيلومترات في الثانية الواحدة ، وبذلك تفقد قدرتها على الاشتراك في تفاعل الانشطار .

وعند إمرار الماء بين قضبان الوقود النووي في قلب المفاعل ، فإنه يساعد على إبطاء سرعة النيوترونات دون أن يمتصها ، وبذلك ترتفع درجة حرارة هذا الماء ، فيساعد على نقل حرارة المفاعل إلى الغلايات التي تنتج البخار .

وهناك نظامان للتبريد يجري إستخدامهما حالياً في المفاعلات النووية ، يعرف أحدهما باسم « مفاعل الماء المضغوط » Pressurized water Reactor ، ويدور فيه الماء في خلال المفاعل وهو تحت ضغط مرتفع لمنع من الغليان عند ارتفاع درجة حرارته .

ويدفع هذا الماء فوق الساخن بعد ذلك إلى مبادل حراري خاص ، وهناك يتبادل حرارته مع تيار آخر من الماء فيحوّله إلى بخار .

ويتضح من ذلك أن هذا النوع من المفاعلات يحتوي على دورتين للماء ،



شكل ٤ - ٤ : مفاعل الماء المضغوط ،

دورة أولية يستخدم فيها الماء في سحب الحرارة العالية لقلب المفاعل دون أن يغلي ، ثم يدفع إلى مبادل حرارى ، وبعد أن يبرد إلى حد ما يضخ إلى قلب المفاعل مرة أخرى ، ودورة ثانوية منفصلة تماما يدفع فيها الماء إلى المبادل الحرارى ليسخن ويتحول إلى بخار .

والمفاعل النووى الموجود بولاية بنسلفانيا في الولايات المتحدة والمعروف باسم « ثرى مايلز ليلاند » ، مفاعل من هذا النوع ، وقد تعرض هذا المفاعل عام ١٩٧٩ لحادث خطير نتيجة لفشل إحدى المضخات التى تدفع الماء في دورة البخار ، وهو الماء الذى يقوم بتبريد الماء فوق الساخن المضغوط قبل عودته إلى المفاعل ، وقد هدب ذلك بارتفاع درجة حرارة قلب المفاعل الى حدود خطيرة .

أما النوع الثانى من المفاعلات النووية فيعرف باسم « مفاعل الماء المغلى » **« Boiling Water Reactor »** ، ولا يحتوى هذا النوع على مبادل حرارى ولا على دورة ثانوية للماء ، وذلك لأن الماء المستعمل في تبريد المفاعل هو نفسه الذى يغلي ويتحول إلى بخار ، ويستخدم في إدارة التربينات لتوليد الكهرباء .

ويمكن استخدام الغازات في تبريد المفاعلات النووية ، ومن أمثلة هذه الغازات ثانى أكسيد الكربون أو غاز الهليوم . وقد استخدم غاز ثانى أكسيد الكربون لتبريد بعض المفاعلات النووية في فرنسا وبريطانيا ، وفي مثل هذه الحالات يستخدم الجرافيت في تهدئة التفاعل المتسلسل وإبطاء سرعة النيوترونات ، وبعد أن يسخن الغاز وترتفع درجة حرارته ، يدفع إلى مبادل حرارى لتسخين الماء وتحويله إلى بخار .

ولا تعتبر طريقة تبريد المفاعلات بالغازات طريقة مثالية ، ومع ذلك فقد بدأت المفاعلات المبردة بالغاز تلقى شيئا من الاهتمام هذه الايام ، وتستخدم فيها كريات صغيرة جدا من السيراميك ، يقل قطر الواحدة منها عن المليمتر ، وتغطى هذه

الكريات بطبقة من الجرافيت وكربيد السليكون ثم توضع داخل أنبوب من الأسمنت المضغوط لحماية قلب المفاعل .

ويتمتع المفاعل المبرد بالغاز بقلب ضخم منخفض الحرارة ، وقد يستغرق قلب المفاعل عدة ساعات كي ترتفع درجة حرارته إلى حدود خطيرة تضر بالوقود ، حتى أنه يقال أنه عند حدوث حادث لأحد هذه المفاعلات ، فإن المسئولون عن سلامة وأمن المفاعل سيجدون وقتا كافيا لاحتساء فنجان من القهوة أثناء تفكيرهم في حل المشكلة .

وقد استخدمت بعض الفلزات المنصهرة ، مثل فلز الصوديوم ، في تبريد قلب المفاعلات النووية ، ويعتبر فلز الصوديوم الذي ينصهر عند  $900^{\circ}\text{C}$  تقريبا ذوكفاءة عالية في نقل الحرارة كما أنه قليل التكاليف .

وتعمل المفاعلات التي تبرد بفلز الصوديوم عند درجة حرارة مرتفعة مما يزيد من فاعليتها ، وذلك لأن فلز الصوديوم يغلي في درجة حرارة أعلى بكثير من درجة غليان الماء ، ولهذا السبب لا يحتاج الأمر إلى وجود ضغط مرتفع في قلب المفاعل ، بل يكون الضغط في داخل المفاعل قريبا من الضغط الجوي المعتاد .

وتعتبر هذه ميزة كبرى فالضغط في المفاعلات التي تستعمل الماء يتراوح بين ٧٠ - ١٤٠ كيلو جرام على السنتيمتر المربع ، ولذلك فإنه إذا حدث تسرب ما ، فإن بخار الماء سيندفع إلى الخارج تاركا الوقود لترتفع درجة حرارته إلى حد الانفجار ، على حين لا تقابل هذه المشكلة في المفاعلات المبردة بالصوديوم .

ويستخدم الجرافيت في مثل هذه الحالات لتهدئة سرعة النيوترونات كما أن هناك كذلك بعض الفلزات التي تتصف بقدرتها على امتصاص النيوترونات وقد شبهت قدرتها العالية على امتصاص النيوترونات بقدرة ورق النشاف على إمتصاص الماء .

ومن أمثلة هذه الفلزات ، الكاديوم والبورون والهافنيوم وبعض العناصر الأرضية النادرة .

وعادة ما تصنع هذه العناصر على هيئة قضبان أو شرائح يمكن تحريكها بحيث يمكن انزالها في قلب المفاعل النووي أو رفعها منه .

وتساعد هذه الشرائح أو القضبان عند إدخالها في قلب المفاعل على إمتصاص جزء كبير من النيوترونات فتؤدي إلى تهدئة التفاعل المتسلسل . ويمكن إيقاف عمل المفاعل النووي كلية عند انزال عدد كبير من هذه الشرائح أو القضبان إلى قلب المفاعل .

وهناك كثير من إجراءات الأمن التى يلزم اتخاذها لتجنب حدوث الاخطار أو الكوارث ، فهناك مراقبين دائمين يعملون طوال اليوم فى غرف مراقبة خاصة تعرف باسم غرف التحكم ، تكون مهمتهم المراقبة الدقيقة والدائمة لجميع تفاصيل العمل فى المفاعل ، كما يمكنهم عند اللزوم ، إيقاف التفاعل المتسلسل فى قلب المفاعل عند الاشتباه فى أى عطل طارئ .

وعادة ما يتم التحكم فى المفاعل بطريقة آلية ، فيتم إنزال القضبان المهدئة إلى قلب المفاعل آليا عند زيادة معدل الانشطار عن المعدل المطلوب ، أو ارتفاع درجة الحرارة فى قلب المفاعل عن حد الامان . ويمكن كذلك اسقاط بعض كرات من هذه الغلزات السابقة فى قلب المفاعل لاحداث نفس الاثر .

وأغلب المفاعلات النووية لها انظمة مساعدة لتبريد قلب المفاعل . وعادة ما تكون هذه الانظمة الاحتياطية عالية الكفاءة وهى تستعمل فقط فى حالات الطوارئ ، مثلما يحدث عندما يقل سريان الماء داخل المفاعل ، أو عندما يتوقف سريانه عند فشل إحدى المضخات .

وتتضمن أغلب هذه الانظمة الاحتياطية وجود دورة منفصلة للماء ، لا علاقة لها بدورة ماء المفاعل نفسه ، وتستطيع مثل هذه الانظمة أن تغرق قلب المفاعل بالماء فى الحال لتبريده ومنعه من الانصهار ، كما أنها تحول دون انتشار الاشعاع الضار خارج قلب المفاعل .

وتقام المفاعلات النووية عادة فى داخل أبنية خاصة شديدة الاحكام ولا تسمح بتسرب الاشعاعات الى الوسط المحيط بها ، كذلك تقام هذه المفاعلات فى أماكن منعزلة نسبيا وبعيدة عن الأماكن المأهولة بالسكان .

## تخصيب وقود المفاعل

يمكن للوقود النووى المستعمل فى المفاعلات النووية التجارية ، والمخصب الى حد ما ، أن يجعل هذه المفاعلات تعمل بكفاءة لعدة سنوات وإن كان يفضل دائما أن يعاد تخصيب الوقود المستعمل على فترات .

ومن الملاحظ أن كفاءة المفاعل النووى تقل دائما بمرور الزمن ، ولذلك فإنه من المتبع حاليا فى أغلب الحالات ، تجديد الوقود النووى أو تخصيبه كل عام ، ولايجدد الوقود النووى كله ، بل يكتفى عادة بتجديد ثلث الوقود المستخدم للحصول على الكفاءة المطلوبة .

وتقل عادة كفاءة الوقود النووى بشكل ملحوظ عندما تصل نسبة انشطار

الذرات الى نحو ٤٪ من مجموع ذرات المادة المستعمله كوقود ، وذلك لأن هذه الذرات تتحول عند إنشطارها إلى عناصر أخرى غير مشعة ، وعندما تصل نسبة ذرات هذه العناصر الى هذا الحد ، تبدأ في إمتصاص كثير من النيوترونات السريعة الناتجة من الوقود الاصلى ، مما يقلل من معدل التفاعل المتسلسل ويقلل من كفاءة المفاعل النووى .

### مفاعلات توليد الوقود : “Breeder Reactors”

هناك بعض انواع المفاعلات التى قد تنتج من الوقود النووى أكثر مما تستهلك . وتعرف هذه المفاعلات باسم مفاعلات النمو ، او مفاعلات توليد الوقود النووى . وقد يبدو هذا غريبا لأول وهلة ، ولكن هذه المفاعلات يستخدم فيها اليورانيوم ٢٣٥ ، وينتج فيها وقود نووى آخر هو البلوتونيوم .

وتحقق لنا هذه المفاعلات مزيدا من الأمل فى امتداد أجل ما تمدنا به الأرض من العناصر المشعة ، خاصة وإن اليورانيوم الموجود طبيعيا يقدر له أن ينتهى ويستهلك فى النصف الاول من القرن القادم .

وقد بنى أول مفاعل لتوليد الطاقة النووية فى الولايات المتحدة عام ١٩٥١ ، وكان هذا المفاعل من النوع الذى يتولد فيه الوقود النووى .

وقد استخدم فى هذا المفاعل غلاف من عنصر اليورانيوم ٢٣٨ يحيط بقلب المفاعل المحتوى على اليورانيوم ٢٣٥ ، وعندما تعرض هذا الغلاف للنيوترونات فائقة السرعة الناتجة من انشطار الذرات فى قلب المفاعل ، تحول اليورانيوم ٢٣٨ الموجود بالغلاف إلى بلوتونيوم ٢٣٩ .

وقد بنيت بعد ذلك عدة مفاعلات من هذا النوع فى كل من بريطانيا وفرنسا وألمانيا والاتحاد السوفيتى واليابان ، ويعتبر المفاعل الفرنسى المسمى « فينكس » “Phénix” من أنجح هذه المفاعلات ، فهو ينتج البلوتونيوم ٢٣٩ بالإضافة الى توليد نحو ٢٥٠ مليون وات من الكهرباء . وقد قامت فرنسا بعد ذلك ببناء مفاعل أكبر من نفس هذا النوع ، تبلغ قدرته نحو ١,٢ بليون وات .

ولم تهتم الولايات المتحدة ببناء مفاعلات توليد الوقود النووى ، وذلك بسبب المعارضة الشديدة التى لاقتها فكرة تحويل اليورانيوم ٢٣٨ الى البلوتونيوم .

ويرى المعارضون لهذه الفكرة أن البلوتونيوم الناتج قد يقع تحت يد بعض الجماعات المتطرفة التى قد تستطيع الاستيلاء عليه بطرقها الخاصة ، أو قد يسلم

تحت بعض الظروف السياسية الخاصة ، لبعض الدول الأخرى لتستخدمه في صنع السلاح النووي .

وبصفة عامة ، فقد قل الحماس كثيرا لاقامة هذا النوع من المفاعلات بسبب ارتفاع تكلفتها ، وصعوبة اتخاذ احتياطات الأمن فيها .

## استخدامات الطاقة النووية

توفر الطاقة النووية المستخدمة اليوم قدرا ضئيلا من جملة الطاقة المستخدمة في العالم ، لا يزيد على ١٪ ، ومع ذلك فقد ساهمت الطاقة النووية بقدر أكبر في قطاع الكهرباء ، وبلغت هذه النسبة نحو ٩٪ من الكهرباء المولدة في العالم عام ١٩٨٣ ، ومن المتوقع أن تزداد هذه النسبة كل عام نظرا لقيام كثير من الدول ببناء مفاعلات ومحطات نووية جديدة بها .

وقد استخدمت الطاقة النووية في تسيير السفن منذ عام ١٩٥٤ ، وذلك عندما قامت الولايات المتحدة بإنزال أولى غواصاتها النووية في البحر ، وهي الغواصة المسماة "نوتيلوس" "Nautilus" .

وتساعد المحركات التي تعمل بالطاقة النووية على بقاء الغواصات مدة طويلة تحت سطح الماء قد تصل الى عدة شهور ، وتمكنها بذلك من القيام برحلات طويلة حول العالم دون الحاجة إلى اللجوء إلى الموانئ للتموين بالوقود .

وقد قامت كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي ببناء اعداد كبيرة من هذه الغواصات النووية ، وهي تجوب حاليا مياه البحار والمحيطات .

وقد تم كذلك بناء أنواع أخرى من السفن التي تسيير بالطاقة النووية ، فلدَى الاتحاد السوفيتي كاسحة جليد تسيير بالطاقة النووية ، كما أن لدى الولايات المتحدة حاملات طائرات نووية .

وقد قامت الولايات المتحدة ببناء أولى السفن التجارية التي تسيير بالطاقة النووية عام ١٩٥٩ ، وأطلق عليها اسم "سافانا" "Savannah" وقد تبين بعد ذلك أن مثل هذه السفن تتكلف كثيرا ، وتزيد تكاليف تسييرها على تكاليف تسيير غيرها من السفن المعتادة ، ولذلك اعتبرت مشروعا تجاريا غير ناجح ، وأوقف العمل بهذا المشروع عام ١٩٧١ .

وللمفاعلات النووية فوائد أخرى غير توليد الكهرباء ، فبعض هذه المفاعلات تستخدم في تحضير بعض النظائر المشعة التي لا توجد في الطبيعة ، وتستخدم هذه

النظائر المشعة في الطب لعلاج بعض الأمراض ، وفي اكتشاف بعض الأورام وتدمير بعض الخلايا السرطانية .

كذلك يمكن استخدام هذه النظائر المشعة في كثير من التفاعلات الكيميائية والبيولوجية لمتابعة سير هذه التفاعلات ، وفهم بعض ما يدور فيها ، ومن أمثلة ذلك استخدام الكربون المشع والفوسفور المشع في تتبع عمليات البناء في النباتات ، واستخدام بعض هذه النظائر في تتبع حركة التيارات والمياه العميقة في البحار والمحيطات .

كذلك استخدمت بعض هذه النظائر المشعة في الصناعة للكشف عن بعض الأخطاء التي قد تحدث في عمليات التصنيع ، أو للكشف عن بعض الشقوق الدقيقة في اللحامات المعدنية .

وقد قوبل استخدام الطاقة النووية بكثير من المعارضة في كثير من الدول ، وقد أدت هذه المعارضة الشديدة الى تأخر بناء المفاعلات النووية ، وقد حدث ذلك في جمهورية مصر العربية كما حدث في الولايات المتحدة ، وقامت بعض المسيرات المناهضة لاستخدام الطاقة النووية في دول أوروبا وغيرها من البلدان .

وبالرغم من كل هذه المعارضة فقد تم بناء هذه المفاعلات الجديدة ، وهي تساهم حالياً في إنتاج نحو ٩٪ من كهرباء العالم ، أى أنها تولد نحو ١٠٤,٨٢٣,٠٠٠,٠٠٠ وات على التقريب .

وهناك نحو ١٦٣ مفاعلاً نووياً جديداً تحت البناء في دول كثيرة كما في فرنسا واليابان وغيرها ، ومن المنتظر ، رغم المعارضة الشديدة ، أن تستخدم الطاقة النووية في توليد الكهرباء في كل مكان في السنوات القليلة القادمة بعد التقدم المتوقع حدوثه في تكنولوجيا المفاعلات النووية .

## استخدام الطاقة النووية في جمهورية مصر العربية

لعل من أبرز انعكاسات أزمة الطاقة التي صاحبت الحرب في منطقة الشرق الأوسط ، والتي ارتبطت بعام ١٩٧٣ ، أنها دقت ناقوس الخطر ونهت دول العالم أجمع إلى خطورة النقص في واردات البترول ، وإلى أن موارد الطاقة التقليدية مثل الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعي ، التي كان ينظر إليها على أنها غير محدودة ، هي في واقع الأمر محدودة إلى حد كبير ، ويخشى أن تكون في طريقها إلى النضوب .

وقد بدأ المجتمع المصرى مثل غيره من المجتمعات البشرية في الاحتساس

بمشكلة الطاقة في خلال النصف الثاني من هذا القرن ، خاصة بعد حرب أكتوبر ١٩٧٣ .

وقد كانت احتياجات المجتمع المصرى من الطاقة احتياجات متواضعة ، فقد كان معدل استهلاك الفرد من الطاقة في النصف الاول من هذا القرن لا يزيد على ٥٠ كيلووات ساعة في العام ، ولكن هذه الصورة قد اختلفت كثيرا هذه الأيام حيث بلغ معدل استهلاك الطاقة بالنسبة لكل فرد في عام ١٩٨٦ نحو ٦٤٠ كيلو وات ساعة في العالم .

وترجع الزيادة في استهلاك الطاقة خلال النصف الثاني من هذا القرن الى تلك التغيرات الاجتماعية والاقتصادية التى طرأت على قطاعات مختلفة من المجتمع المصرى ، بجانب امتداد الكهرباء الى عدد هائل من قرى الريف المصرى ، مما يسر للكثيرين استخدام مختلف الأدوات الكهربائية مثل أجهزة التلفزيون والثلاجات وآلات الغسيل ، وهى أدوات تستهلك قدرا كبيرا من الكهرباء ومن الطاقة على مدار العام .

كذلك تزايد استهلاك الطاقة في جمهورية مصر العربية نتيجة للنمو الصناعى الذى تحقق في مصر خلال الثلاثين عاما الماضية ، وظهر بعض الصناعات الجديدة التى تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة ، مثل صناعة الألومنيوم وصناعات الاسمدة والحديد والصلب والاسمنت وما شابهها .

وقد استخدمت مصر المصادر المائية في انتاج الكهرباء منذ عام ١٩٠٥ من خزان اسوان المقام على نهر النيل ، وأقيمت عليه محطات لتوليد الكهرباء ، ثم أنشئ السد العالى وأقيمت عليه عدة تربينات لتوليد الكهرباء وفرت قدرا كبيرا من الطاقة للمصانع في المناطق المحيطة بها ، وتم نقل جزء من هذه الطاقة ايضا الى شمال الوادى .

وحتى عام ١٩٧٨ ، كانت محطات الكهرباء المقامة على السدود المائية في مصر توفر نحو ٦٥٪ من الطاقة الكهربائية ، بينما قامت المحطات الحرارية بتوفير ما تبقى من الطاقة الكهربائية المطلوبة .

ونظرا للاحتياج المتزايد للطاقة في السنوات الأخيرة ، فقد تطلب الامر انشاء عدة محطات حرارية جديدة لانتاج الكهرباء في مصر .

وتستخدم هذه المحطات الحرارية انواع الوقود التقليدية ، مثل الفحم او البترول او الغاز الطبيعى ، وقد القى ذلك عبئا ثقيلا على المصادر الطبيعية للطاقة في مصر .



وقد قدر استهلاك الكهرباء في جمهورية مصر العربية عام ١٩٨٦ بنحو ٣٢ مليار كيلو وات ساعة في العام ، ومن المتوقع ان يزداد استهلاك الكهرباء زيادة كبيرة في الأعوام القادمة بحيث يصل الى ما يقرب من مائة مليار كيلو وات ساعة في السنة حتى عام ٢٠٠٠ .

وقد تعددت الدراسات التي اجريت في هذا المجال ، وكان الهدف منها البحث عن انسب الطرق التي نستطيع بها ان نوفر نحو ٧٠ مليار كيلو وات ساعة في العام من الكهرباء حتى عام ٢٠٠٠ ، وقامت بهذه الدراسات كثير من الجهات المتخصصة مثل هيئة كهرباء مصر ، ومؤسسة الطاقة النووية ووزارات الكهرباء والبترول والرى والتخطيط ، واشترك فيها عدد كبير من اساتذة الجامعات والعلماء والمتخصصين .

وقد تضمنت هذه الدراسات المفاضلة بين استخدام المحطات الحرارية والمحطات النووية في هذا المجال ، مع بيان امكانية استخدام المساقط المائية او الطاقة الشمسية في هذا الخصوص .

وقد تبين من هذه الدراسات ان مصر قد استنفدت تقريبا كل ما لديها من المصادر المائية لانتاج الكهرباء ، وأن اقامة بعض المحطات الجديدة على قناطر اسنا او نجع حمادى او خزان اسيوط لن يعطينا من الطاقة الكهربائية أكثر من ٢٠٠ ميجاوات ، وهو قدر صغير جدا بالنسبة للطاقة المطلوبة على مستوى الجمهورية حتى عام ٢٠٠٠ ، بالاضافة الى ان اقامة مثل هذه المحطات يتطلب تجديد بعض هذه القناطر مما يزيد من تكلفتها الى حد كبير .

اما بالنسبة لمشروع منخفض القطار الذى يقع في الشمال الغربى من جمهورية مصر العربية ، فقد صرف النظر عن استكماله لارتفاع تكلفته التى قدرت بنحو ثلاثة مليارات من الدولارات وقد تصل الى اكثر من ذلك اثناء تنفيذه بينما لن تعطى محطة الكهرباء المزمع اقامتها على هذا المنخفض اكثر من ٢ مليار كيلو وات ساعة في العام ، وهو قدر لا يتناسب مع التكلفة المرتفعة للمشروع .

وقد قدرت الطاقة التى يمكن الحصول عليها من المصادر المائية حتى عام ٢٠٠٠ ، بأنها لن تتعدى باى صورة من الصور ١٣ مليار كيلو وات ساعة في السنة .

وإذا اخذنا في الاعتبار استخدام زيت البترول في توليد الطاقة الكهربائية ، نجد ان محطات الكهرباء التى تعمل حاليا في جمهورية مصر العربية قد استهلكت ما يزيد على ٤ ملايين طن من البترول عام ١٩٨٤ ، بالاضافة الى نحو ١,٥ مليون

طن من الغاز الطبيعي لانتاج نحو ١٣ مليار كيلو وات ساعة في السنة .

ولو تم الاعتماد على المحطات الحرارية التي تدار بزيوت البترول لانتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لجمهورية مصر العربية حتى عام ٢٠٠٠ ، والتي تقدر بنحو ٧٠ مليار كيلو وات ساعة في السنة ، لاحتاج الأمر الى استخدام قدر كبير من زيت البترول يصل الى نحو ٢٦ مليون طن أو أكثر في العام ، وهو قدر هائل من البترول يعتقد انه لن يكون متوفرا في مصر نظرا لأن الاحتياطي الحالي من زيت البترول يقدر له ان ينضب في نهاية هذا القرن .

وإذا اخذنا في الاعتبار احتياجات القطاعات الأخرى من البترول مثل قطاع الصناعة وقطاع النقل وما الى ذلك ، يتضح لنا اننا سنحتاج الى ما يقرب من ٧٠ مليون طن من زيت البترول سنويا لكل هذه القطاعات ، وإذا لم يتم استكشاف مصادر جديدة للبترول في مصر ، فإن ذلك سيتطلب عندئذ استيراد كل هذه الكمية الهائلة من البترول من الخارج ، مما سيلقى عبئا هائلا على الامكانيات المالية لمصر .

وإذا استخدم الغاز الطبيعي في توليد الكهرباء في جمهورية مصر العربية ، فأننا نجد ان قطاع الكهرباء يستهلك حاليا نصف كمية الغاز الطبيعي الذي تنتجه البلاد على التقريب ، وليس من المتوقع زيادة كميات الغاز الطبيعي المستخدمة في توليد الكهرباء نظرا لاحتياج القطاعات الأخرى لهذا الغاز كما في صناعات الاسمدة والاسمنت والحديد والصلب ، بالإضافة الى التوسع المنتظر في استخدام الغاز الطبيعي كوقود في المنازل بديلا للبوتاجاز توفيراً لما يستورد منه بالعملة الحرة من الخارج .

وفي افضل الظروف ، فإن ما يمكن تخصيصه من الغاز الطبيعي لقطاع الكهرباء حتى عام ٢٠٠٠ لن يزيد على ٣,٥ مليون طن على أكثر تقدير ، وهو قدر لا يكفي الاتوليد نحو ١٠ - ١٢ مليار كيلو وات ساعة في السنة فقط .

وعند دراسة امكانية استخدام الفحم في توليد الكهرباء في الأعوام القادمة ، نجد ان احتياطات الفحم المؤكدة والموجودة بمناجم شبه جزيرة سيناء لا تتعدى ٣٥ مليون طن على أكثر تقدير ، ولن يزيد ما يمكن استخراجه منها كل عام على ٦٠٠ ألف طن .

ولن يتاح من هذا الفحم لقطاع الكهرباء الا النصف فقط أى ٣٠٠ ألف طن كل عام ، وذلك لأن بعض القطاعات الأخرى مثل شركة الكوك والكيماويات الأساسية تحتاج الى أكثر من نصف كمية المستخرج منه كل عام .

وهذا القدر الصغير من الفحم المتاح لحظة الكهرباء لا يمثل شيئاً يذكر بالنسبة لاحتياجات المحطات المتوسطة لتوليد الكهرباء ، فمحطة توليد الكهرباء التى تصل قدرتها الى ١٠٠٠ ميجاوات ، تستهلك ما يقرب من ٢,٨ مليون طن من الفحم فى العام ، وبذلك فان الاعتماد على استخدام الفحم المنتج محليا ، وقدره ٣٠٠ ألف طن ، سيتطلب استيراد نحو ٢,٥ مليون طن من الفحم لتشغيل محطة كهرباء بهذا القدر ، وتبلغ قيمة هذا الفحم المطلوب استيراده من الخارج نحو ٢٥٠ مليون دولار على الأقل اذا ثبت سعر طن الفحم عند ١٠٠ دولار فقط .

وتتطلب احتياجات جمهورية مصر من الكهرباء اقامة عدة محطات كبيرة لتوليد الكهرباء ، فاذا فرضنا ان الامر يتطلب اقامة خمس محطات من هذا النوع ، فإن كمية الفحم المطلوب استيراده ستصل الى نحو ١٤ مليون طن وتبلغ قيمتها ما يزيد على ١,٤ مليار من الدولارات بالاسعار الحالية ، والتى ينتظر ان تزداد كثيرا فى عام ٢٠٠٠ .

كذلك يتطلب استيراد الفحم من خارج البلاد اقامة موانئ خاصة لاستقبال هذا الفحم ، أو على الأقل اعداد أرصفة جديدة فى الموانئ الحالية مع انشاء مخازن خاصة بها وأنشاء شبكة من الطرق الواسعة وخطوط جديدة للسكك الحديدية حتى يمكن مجابهة الكميات الضخمة من الفحم الواردة من الخارج ونقلها الى محطات الكهرباء التى تتوزع فى انحاء العالم .

وستحتاج كل هذه العمليات بالاضافة الى ضرورة توفير بعض وسائل النقل الثقيل الى تدبير نحو ١٠ مليارات اخرى من الدولارات يتعين اضافتها الى القيمة الاجمالية لتكلفة محطات توليد الكهرباء التى تدار بالفحم .

وهناك مشاكل جانبية تصاحب استخدام الفحم اوزيت البترول فى تشغيل محطات الكهرباء ، وهى المشاكل المتعلقة بتلوث البيئة نتيجة لتصاعد بعض غازات اكاسيد النتروجين وثانى اكسيد الكبريت ، ولابد من التخلص من هذه الغازات حفاظا على صحة الانسان ، ويتطلب ذلك تزويد مثل هذه المحطات الحرارية بأنواع خاصة من التجهيزات التى تستطيع امتصاص هذه الغازات الضارة .

ويؤدى ذلك الى ارتفاع تكلفة المحطات الحرارية لتوليد الكهرباء بمقدار ١٥٪ على الأقل من تكلفتها الأساسية ، ويجب اخذه - كذلك - فى الاعتبار عند حساب تكلفة هذه المحطات .

وينبذ من كل هذه الدراسات ان انتاج القدر اللازم من الكهرباء حتى عام ٢٠٠٠ فى جمهورية مصر العربية ، لن يتحقق الا ببناء بعض المحطات النووية

لتوليد الكهرباء ، وأنه إذا أريد توفير قدر من الكهرباء يصل الى نحو ٧٠ مليار كيلو وات ساعة في العام ، فإن الأمر يستلزم اقامة خمس محطات نووية على الأقل قدرة كل منها ١٠٠٠ ميجاوات .

وقد تبين من هذه الدراسات ان تكاليف انتاج الكيلووات ساعة من الكهرباء على أساس اسعار التكلفة التي اعلنتها الوكالة الدولية للطاقة النووية في فيينا ، من المفاعل النووي الذي قدرته ١٠٠٠ ميجاوات ، لا تزيد على ٤,٢ سنت امريكي ، بينما تصل هذه التكلفة في حالة المحطة الحرارية التي تدار بالفحم ، ولها نفس القدرة السابقة ، حوالى ٦,٢٣ سنت امريكي وإلى ٦,٥ سنت اذا كانت المحطة تدار بالبترول .

ويتضح من ذلك ان سعر انتاج الكيلووات ساعة في المحطة الحرارية يزداد بمقدار ٣٥٪ على تكلفة الكيلو وات ساعة الناتج من المحطة النووية .

ويعنى ذلك ان المحطة النووية التي تبلغ قدرتها ١٠٠٠ ميجاوات ، توفر نحو ١٣٠ - ١٤٠ مليون دولار في العام عن المحطة الحرارية المماثلة لها وتدار بالفحم ، وتوفر حوالى ١٧٠ مليون دولار بالنسبة للمحطة الحرارية التي تدار بالبترول .

وإذا فرضنا ان العمر الافتراضى للمحطة النووية يصل الى ٣٠ عاما ، فإن اجمالى الوفرة يبلغ حوالى ٤,٢ مليار خلال هذه الفترة وهو مبلغ ضخم يمكن استغلاله في تجديد المحطة النووية .

ويرى المعارضون لاقامة المحطات النووية ، أن حدوث خلل في بعض اجزائها قد يؤدى الى تسرب الاشعاع النووى من هذه المحطات وتلويث البيئة المحيطة بها ، ولكن المؤيدين لاقامتها يرون انه لا بديل عنها اذا اريد توفير الطاقة الكهربائية المطلوبة في جمهورية مصر العربية في الاعوام القادمة ، ومع ذلك فهم يؤكدون على ضرورة اتخاذ احتياطات أمن مناسبة وفعالة ، وأن تقام هذه المحطات بعيدة عن العمران .

## استخراج اليورانيوم

يوجد اليورانيوم في معادن مختلفة خاصة معدن البتشبلند او اليورانيت Pitchblende (uranite) او في الكارنوتيت Carnotite او مختلطا بخامات الفوسفات في بعض الاماكن .

ونظرا للحاجة الشديدة الى استخراج كميات كبيرة من اليورانيوم فقد جرت هناك بعض البحوث الخاصة بمحاولة استخراجه من مياه البحر ، وقد اقيمت

واحدة من هذه المحطات التجريبية في اليابان بتكلفة قدرها ١١ مليون دولار . ويرى العلماء المشرفون على هذه التجارب ان مياه المحيط تحتوى على ثلاثة اجزاء من اليورانيوم في كل مليار جزء من مياه المحيط ، أى أن بحار العالم تحتوى على نحو اربعة مليارات من الاطنان من اليورانيوم .

ويرى علماء اليابان ان نجاحهم في استخراج ١٠ كيلو جرامات يورانيوم سنويا من مياه البحر سيساعدهم على تشغيل المفاعلات النووية وسيؤدي الى خفض اعتماد اليابان على البترول المستورد .

وتقوم المحطة اليابانية بسحب ١٧٠٠ طن من مياه البحر في الساعة عن طريق أنابيب تمتد الى عمق كبير في مياه البحر ، وبعد تنقية الماء من الشوائب ، يمرر تيار المياه ببطلة خلال اوعية بها اكسيد التيتانيوم الذى يساعد على امتصاص اليورانيوم .

ويستخلص اليورانيوم بعد ذلك بطريقة التبادل الايوني ، مما يؤدي الى استخلاص نسبة تصل الى نحو ٢٨٠٠ جزء من كل مليار جزء ، وهى تصل تقريبا الى نفس نسبة اليورانيوم المستخرج من المناجم .

ولا تزال مثل هذه العمليات في طور البحوث ، وهى حتى الآن مرتفعة التكاليف ويصل سعر الرطل من اليورانيوم المستخرج بهذه الطريقة الى نحو اربعة اضعاف السعر العادى ، ولكن مع استمرار تقدم البحوث في هذا المجال ، فانه ينتظر ان تقل تكلفة الخام المستخرج بهذه الطريقة ، والذى يحتاجه اليوم كثير من الدول خاصة بعد تناقص المخزون العالمى من خام اليورانيوم .



## طاقة الاندماج النووي

تضمن حديثنا عن الطاقة النووية حتى الآن الطاقة الناتجة من انشطار بعض الذرات الثقيلة مثل ذرات اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ ، ولكن هناك نوعا آخر من التفاعلات النووية يعطى قدرا هائلا من الطاقة عند حدوثه ، وهو لا يتضمن انشطار الذرات كما سبق ان رأينا ، ولكنه يحدث باندماج "Fusion" بعض الذرات الخفيفة معا لتكوين ذرات أثقل منها .

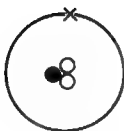
وقد استطاع الانسان استخدام هذه الطاقة الهائلة في انتاج اسلحة الدمار ، فصنع منها القنابل الهيدروجينية ذات القوة التدميرية الهائلة ، ولكنه لم يستطع تذليل هذه الطاقة الهائلة واستغلالها في توليد الكهرباء او في الصناعة وغيرها من الأغراض .

ومن المتوقع ان تؤدي البحوث المتصلة في هذا المجال الى سيطرة الانسان على هذه الطاقة الهائلة في السنوات القليلة القادمة ، ومن المؤكد ان هذه الخطوة ستكون من اهم الخطوات التي تساعد على حل مشكلة الطاقة في القرن القادم ، خاصة وان المصدر الرئيسي لهذه الطاقة هو غاز الهيدروجين الذى يمكن الحصول عليه بوفرة هائلة من مياه البحار .

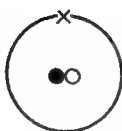
ويمكننا ان نتصور مقدار الطاقة الهائلة التى تنتج من اندماج الذرات ، اذا عرفنا ان حرارة الشمس الهائلة تنتج في واقع الأمر من اندماج ذرات الهيدروجين في مركزها .

ويتم الحصول على هذه الطاقة الهائلة باندماج ذرات اخف العناصر وهو الهيدروجين ، وعادة ما يستخدم في ذلك ذرات بعض نظائر الهيدروجين مثل الديوتيريوم "Deuterium" والتريتيوم "Tritium" .

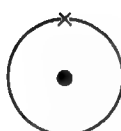
وذرات كل من الديوتيريوم والتريتيوم اثقل قليلا من ذرات الهيدروجين فبينما تتكون نواة ذرة الهيدروجين من بروتون واحد موجب الشحنة ، تتكون نواة ذرة الديوتيريوم من بروتون واحد ونيوترون واحد ولذلك يكون وزنها الذرى ٢ . كذلك تتكون ذرة التريتيوم من بروتون واحد واثنين من النيوترونات ، ولذلك يكون وزنها الذرى ٣ .



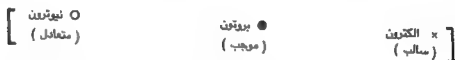
ذرة التريتيوم



ذرة الديوتيريوم



ذرة الهيدروجين



شكل ٥ - ١

ويمكن الحصول على الديوتيريوم من مياه البحر ، فهناك ذرة واحدة من الديوتيريوم مقابل كل ٦٥٠٠ ذرة من ذرات الهيدروجين في جزيئات ماء البحر .

ويعنى هذا أن مياه البحار والمحيطات تحتوى على ملايين الملايين من ذرات الديوتيريوم ، وبذلك يصبح لدينا مصدرا لا يفنى من هذا العنصر ، يمكن أن يوفر لنا احتياجاتنا من الطاقة لعدة ملايين من السنين .

والطاقة الناتجة من الاندماج النووى طاقة هائلة ، فالكيلوجرام الواحد من اكسيد الديوتيريوم  $[D_2O]$  الذى يتركب من ذرتين من الديوتيريوم وذرة واحدة من الأكسجين ، ويعرف باسم الماء الثقيل ، يعطينا طاقة تكافئ الطاقة الناتجة من ألفى طن من الفحم ، أو ما يكافئ الطاقة الناتجة من مليونى لتر من الجازولين .

واحدى الصعوبات الكبرى التى تصادف العلماء في هذا المجال ، هى كيفية السيطرة على تفاعل الاندماج بحيث يمكن استغلال الطاقة الصادرة منه في مختلف الأغراض .

وتقع الصعوبة الرئيسية في أن تفاعل الاندماج يحتاج إلى طاقة كبيرة لبدئه ، فهو يحتاج إلى رفع درجة حرارة ذرات الديوتيريوم أو الهيدروجين إلى درجة حرارة عالية تصل إلى ١٠٠ مليون درجة مئوية .

ويمكن التغلب على هذه الصعوبة في حالة صنع القنبلة الهيدروجينية فتستخدم قنبلة نووية عادية لرفع درجة حرارة الهيدروجين ، ولا يمكن طبعاً أن نفعل ذلك في المعمل .

وعند تسخين ذرات الهيدروجين إلى هذه الدرجة العالية تنشأ عندنا حالة جديدة من المادة تعرف باسم « البلازما » "Plasma" .



ومن المعروف أن للمادة حالات ثلاث ، هي الحالة الجامدة ، والحالة السائلة ، والحالة الغازية ، وهي صور للمادة يمكن أن تتحول أحداها إلى الأخرى برفع درجة الحرارة أو خفضها . فالماء عند الضغط الجوى المعتاد مثلا يوجد على هيئة الثلج تحت الصفر المئوى ، ويوجد على هيئة سائل بين الصفر المئوى ومائة درجة مئوية ، على حين يوجد على هيئة بخار في درجات الحرارة التى تزيد على مائة درجة مئوية .

أما عند درجات الحرارة العالية التى نحن بصدها ، والتى تبلغ نحو ١٠٠ مليون درجة مئوية ، فلا يمكن للمادة أن توجد على أى من هذه الصور الثلاث ، ولكنها تتحول إلى ما يسمى بالبلازما ، وهى حالة تكون فيها المادة على هيئة أنوية مفردة والكثرونات حرة تتحرك جميعا فى سرعات هائلة .

وهذه هى الحالة التى توجد عليها المادة فى كل النجوم ، وفى شمسنا التى نراها كل يوم حيث تبلغ درجة الحرارة حدا هائلا فى مركز هذه النجوم نتيجة لما يجرى بها من تفاعلات الاندماج النووى .

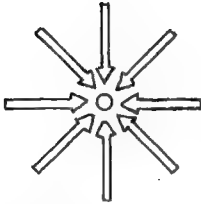
وقد كانت الصعوبة الأخرى التى قابلت العلماء المشتغلين بهذه العمليات ، هو نوع الاناء أو الوعاء الذى نستطيع أن نضع فيه غاز الهيدروجين ويستطيع أن يتحمل هذه الحرارة العالية دون أن ينصهر .

ولا توجد لدينا حاليا أى مادة من هذا القبيل ، فجميع المواد المعروفة تنصهر قبل ذلك بكثير ، وأعلى درجة انصهار يمكن الحصول عليها من خليط من كربيد التنتالوم وكربيد الهافنيوم هى  $٤٢٠٠^{\circ}\text{C}$  ، وهى لا تكفى لصنع وعاء يتحمل الحرارة المطلوبة .

وقد فكر العلماء فى طريقتين جديدتين للامساك بهذه البلازما واحتوائها أثناء عملية رفع درجة الحرارة إلى مائة مليون درجة ، وتتلخص أحدهما فى استخدام أشعة الليزر لهذا الغرض ، بينما تستخدم الطريقة الثانية مجال مغنطيسى فائق القوة يستطيع قيد هذه البلازما فى مكانها .

### طريقة الليزر :

تتلخص هذه الطريقة فى وضع خليط من غازى الديوتيريوم والتريتيوم فى اناء صغير من الزجاج يشبه القرص ، ثم يحاط هذا القرص الزجاجى من جميع جوانبه بمصادر لأشعة الليزر ، بحيث يكون هذا القرص فى مركز هذه المصادر تماما ، وكأنه يقع فى محور عجلة وتترتب حوله المصادر فى كل اتجاه كأسلاك العجلة .



شكل ٥ - ٢  
مصادر الليزر تحيط بالقرص الزجاجي المحتوى  
على الديوتيريوم والتريتيوم

وعند بدء التشغيل ، تخرج من مصادر الليزر دفعات قوية من الطاقة تتركز كلها داخل القرص الزجاجي وتضغط ما به من ديوتيريوم وتريتيوم بقوة هائلة تحفظه في مكانه ، وترفع درجة حرارته إلى عدة ملايين من الدرجات المنوية في جزء من مليون جزء من الثانية .

وقد أقيم أحد هذه الأجهزة في معامل « ليفرمور » بكاليفورنيا بالولايات المتحدة ، واستخدم الباحثون عشرين مصدرا من مصادر الليزر لتركيز نحو ٢٦ مليون وات على قرص صغير من الزجاج قطره  $\frac{1}{2}$  مليمتر ويحتوى على خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ، وذلك لمدة جزء من عشرة ملايين جزء من الثانية .

وعلى الرغم من القوة الهائلة التى ضغط بها الوقود في هذه التجربة ، فانهما لم تنجح في بدء تفاعل الاندماج بين كل من الديوتيريوم والتريتيوم ، وذلك لأن درجة حرارة هذا الخليط لم تصل إلى الحد المطلوب وهو ١٠٠ مليون درجة مئوية .

وقد أطلق الباحثون على هذا النظام من مصادر الليزر اسم « شيفا » "Shiva" ، وذلك تشبيها باسم أحد الهة الهندوس ذات الأذرع المتعددة .

ويجرى حاليا في نفس هذه المعامل السابقة استحداث نظام أقوى من مصادر الليزر أطلق عليه اسم « نوبا » "Nova" وهو اسم يطلق عادة على النجوم التى تنفجر بقوة هائلة ، وذلك تشبيها لهذا النظام الجديد بالطاقة الهائلة المنبعثة من هذه النجوم عند انفجارها . ومن المقدر أن تكون القوة الصادرة من هذا النظام الجديد أكبر من قوة نظام شيفا السابق بنحو عشر مرات .

وقد قام عدد آخر من الباحثين بمعامل سانديا الأهلية بنيومكسيكو بالولايات المتحدة ، باستخدام سيال من البروتونات في هذه التجارب وذلك بدلا من أشعة الليزر ، وتقوم البروتونات موجبة الشحنة ذات الطاقة العالية باعطاء دفعات من الطاقة تقدر بعدة ملايين من الوات .

وتجرى حاليا الاستعدادات في هذه المعامل لقذف قرص من الزجاج قطره  $\frac{1}{2}$  مليمترا ويحتوى على خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ، بطاقة عالية قدرها نحو ١٠٠ تريليون وات ، صادرة من اثنتين وسبعين مصدرا من مصادر هذه البروتونات ، وقد يؤدى ذلك إلى رفع درجة حرارة الخليط وحدث تفاعل الاندماج .

### طريقة المجال المغنطيسى :

تقوم هذه الطريقة على استخدام مجال مغنطيسى فائق القوة يحيط بالبلازما ويمسك بها في مكانها .

وقد أطلق اسم « القارورة المغنطيسية » على هذا النظام "Magnetic Bottle" لأنه يستطيع أن يعبئ البلازما في حيز ثابت ومحدود .

ويمكن صنع هذه القارورة المغنطيسية على صورتين : احدهما تكون فيه هذه القارورة أنبوبية الشكل ، والاخرى تكون فيه على هيئة حلقة مجوفة .

وتتربط المغنطيسات في الطريقة الاولى بطريقة خاصة بحيث تصنع فيما بينها تجويفا أنبوبى الشكل ، ثم تسد أطراف هذه الأنبوبة بمغنطيسات أخرى فائقة القوة تمنع البلازما من التسرب من هذه الأطراف .

المغنطيسات



شكل ٥ - ٣

وعند تشغيل هذه المغنطيسات ، فإن البلازما المشحونة ، أى التى تحمل شحنة كهربائية ، تندفع بعيدا عن المغنطيسات إلى قلب الأنبوبة ، وكأنها تنعكس من على سطح الأنبوبة كما ينعكس الضوء من أسطح المرايا ، ولهذا فقد سمي هذا النظام أحيانا باسم « المرايا المغنطيسية » ، "Magnetic Mirrors" ١٤٢

وتستخدم جسيمات متعادلة الشحنة مثل النيوترونات ، لرفع درجة حرارة هذه البلازما ، وبذلك فانه عند قذف هذه البلازما بنيوترونات عالية الطاقة ، فانها تصطدم بهذه البلازما بقوة وترفع درجة حرارتها إلى حدود هائلة قد تصل بها تحت الظروف المناسبة إلى الحد الذى يحدث عنده تفاعل الاندماج المطلوب .

ويطلق أحيانا على هذه النيوترونات السريعة التى تقذف بها البلازما اسم « الرصاصات » "Bullets"، وذلك كناية عن سرعتها العالية وقوة اصطدامها الهائلة .

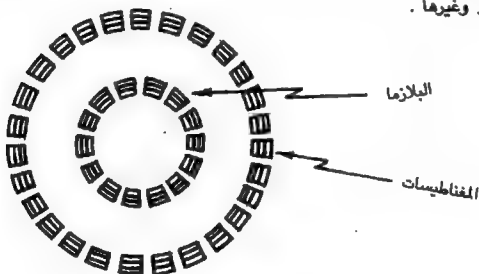
ويلاحظ أن هذه النيوترونات عالية الطاقة ، لا تتأثر بالمجال المغنطيسى المحيط بها ، وذلك لأنها جسيمات متعادلة الشحنة ، ولذلك فهى تخترق البلازما بسرعة فائقة مثل الرصاصات .

وقد استخدم العلماء المجال المغنطيسى فى امسك البلازما وقيدها فى مكانها منذ عام ١٩٥٠ ، ويجرى حاليا بناء نظام متقدم لهذه المرايا المغنطيسية فى كاليفورنيا بالولايات المتحدة .

وهناك طريقة أخرى مشابهة لطريقة المرايا المغنطيسية ، وهى قد تعتبر نموذجا مطورا من هذه المرايا .

ويشبه النظام المستعمل فى هذه الطريقة الكعكة أو الحلقة المجوفة المستديرة ، ويتكون هذا النظام نظريا بثنى الأنبوبة السابقة على هيئة حلقة حتى يلتقى طرفاها .

ويتضح من ذلك أن المجال المغنطيسى فى هذه الحالة يتوزع داخل هذه الكعكة وخارجها ويحيط بها من جميع الجهات . ويشبه هذا النظام فعلا القارورة ولكنها قارورة مغنطيسية تدور فيها البلازما ولا تستطيع مغادرتها ، ويمكن فى هذه الحالة استبدال المجال المغنطيسى بمصادر قوية للتيار الكهربائى أو بموجات الراديو وغيرها .



شكل ٥ - ٤  
القارورة المغنطيسية أو التوكامك

وقد صنع أحد هذه الأنظمة المتقدمة في الاتحاد السوفييتي وأطلق عليه اسم «توكاماك» "Tokamak"، وقد أصبح ذلك الاسم يعد ذلك علما على هذا النوع من الأنظمة المماثلة التي أقيمت في بقية الدول بما فيها الدول الغربية . وقد بدأت الولايات المتحدة عام ١٩٨٠ في بناء مفاعل توكاماك للاندماج النووي بجامعة برنستون ، ويقدر تكلفته بعد انتهاء العمل فيه بنحو ٥٠٠ مليون دولار ، ويُنْتَظَر أن يعطى نتائج متقدمة في هذا المجال .

كذلك هناك محاولات أخرى مماثلة في أماكن أخرى بالولايات المتحدة ، فيقوم حاليا بعض علماء الفيزياء في « أوك ريدج » ، بالعمل على استحداث نظام تضغط فيه البلازما في نبضات أو دفعات متتالية .

كذلك يقوم بعض العلماء في معامل « لوس الاموس » بنيومكسيكو بالولايات المتحدة ، ببعض التجارب على نظام جديد لاحداث تفاعل الاندماج ، كما تجرى في ألمانيا الغربية بعض التجارب على نظام آخر تدور فيه البلازما في مجال مغنطيسي على هيئة الرقم ثمانية "8"، وأطلق على هذا النظام اسم « ستلارياتور » "Stellarator" .

وتقوم حاليا مجموعة الدول الأوروبية بوضع مخطط لانتاج الطاقة من تفاعل الاندماج ، تتعاون فيه عدة دول أوروبية ، كما تجرى في اليابان حاليا مجموعة من التجارب على توكاماك أطلق عليه اسم توكاماك الاندماج الياباني "JFT-11"، كما أن هناك خطة لبناء توكاماك آخر أكبر قدرة قد يتكلف بناؤه نحو بليون دولار .

أما الاتحاد السوفييتي ، وكان له فضل السبق في ابتكار نظام التوكاماك ، فما زال يجرى بعض التجارب المتطورة في هذا المجال .

وقد بلغ مجموع ما صرفته هذه الدول حتى الآن على البحوث الخاصة بانتاج الطاقة من تفاعل الاندماج النووي ، ما يزيد على بليونين من الدولارات ، ولا تعتبر هذه التكلفة مرتفعة ، فهي لن تضيق سدى إذا نجحت هذه التجارب والبحوث وأدت إلى السيطرة على تفاعل الاندماج وإلى استخلاص الطاقة النافعة منه والتي يمكن استخدامها في كل الأغراض .

وإذا تحقق ذلك ، فأننا يمكن أن نقول حينئذ أن الإنسان قد استطاع لأول مرة في تاريخه الطويل ، أن يحصل على مصدر مستمر للطاقة رخيص التكاليف ولا يفنى على مر الزمن .

ومن الملاحظ أن تفاعل الاندماج ، عند السيطرة عليه ، سيكون أقل خطرا من تفاعل الانشطار ، وذلك لأن نسبة الاشعاعات الصادرة من تفاعل الاندماج ،

أقل بكثير من تلك الاشعاعات الصادرة من الوقود النووي المعتاد .

كذلك لا توجد هناك أية احتمالات لحدوث انفجار من أى نوع ، وذلك لأنه عند فقد السيطرة على تفاعل الاندماج بأى صورة من الصور ، فإن ذلك سيؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة وتوقف تفاعل الاندماج كلية .

وعلى الرغم من أن عنصر التريتيوم له اشعاع خفيف ، إلا أنه أقل خطورة بكثير من عنصر البلوتونيوم الذى يتكون فى المفاعلات النووية التى تعمل بمبدأ الانشطار ، وقد يصبح الجهاز الذى يجرى فيه تفاعل الاندماج مشعاً الى حد ما ، ولكن نسبة الاشعاع التى قد تصدر منه ستكون أقل بنسبة مائة مرة عن الاشعاع الصادر من المفاعل النووى الذى يعمل بمبدأ الانشطار ، والمائل له فى القدرة .

ويعتقد العلماء أن التوكاماك الذى يبنى حالياً فى الاتحاد السوفيتى والذى يبنى كذلك فى جامعة برنستون بالولايات المتحدة قد يصلان إلى ما يسمى بنقطة التعادل ، وهى النقطة التى تكون فيها الطاقة التى يستهلكها الجهاز مماثلة للطاقة الناتجة منه ، أى أن كلا من هذين الجهازين سيعطى من الطاقة قدر ما يستهلك منها عند نجاحه فى بدء تفاعل الاندماج .

وسيختلف الموقف كثيراً عندما تتطور هذه الأجهزة فى المستقبل القريب ، عندما يكون توازن الطاقة موجبا ، أى عندما يعطى الجهاز من الطاقة أكثر مما يستهلك .

ومن المقرر أن يحدث ذلك عام ١٩٩٥ ، بعد أن تتطور أجهزة التوكاماك وعندئذ نستطيع أن نقول أن الانسان قد نجح فى استخدام الطاقة الكونية ، وهى طاقة النجوم ، فى تشغيل مصانعهِ وفى تدفئة منازلهِ ، وقد ينجح بذلك فى التغلب على مشكلة الطاقة الى الأبد .

## الاندماج النووي البارد

الاعتقاد الشائع حتى الآن أن اندماج ذرات الهيدروجين وتحولها إلى ذرات هليوم ، لا يتم إلا في وجود قدر هائل من الطاقة ويحتاج إلى درجة حرارة بالغة الارتفاع تصل إلى نحو ١٠٠ مليون درجة مئوية .

وقد تم حديثا اكتشاف طريقة أخرى يمكن فيها لذرات الهيدروجين أن تندمج معا ، وتطلق قدرا هائلا من الطاقة ، دون الحاجة إلى رفع درجة حرارة هذه الذرات إلى تلك الحدود البالغة الارتفاع .

ففي عام ١٩٤٠ قام العالمين اندريا سخاروف وف . فرانك "Andrei Sakharov & F. Frank" بإعلان امكانية حدوث مثل هذا الاندماج في درجات حرارة منخفضة بتأثير بعض الجسيمات الأولية المعروفة باسم « الميونات » "Muons".

ولم تمض عشرة أعوام على هذا الغرض النظرى ، حتى قام لويس الفاريز "Louis Alvarez" وبعض زملائه في جامعة بركلي بالولايات المتحدة ، بملاحظة أول مشاهدة عملية من هذا النوع عندما كانوا يرقبون مسارات بعض الجسيمات النووية في الغرفة السحابية "Cloud Chamber" ، في أثناء دراستهم لموضوع آخر بعيد كل البعد عن موضوع الاندماج النووي .

وقد لاحظ هؤلاء العلماء ، بمحض الصدفة ، وجود آثار غير معتادة في الصور الفوتوغرافية للغرفة السحابية ، واستطاعوا تفسيرها بمساعدة عالم آخر يدعى ادوارد تيلر "Edward Teller" على انها ناتجة من تفاعلات الاندماج التي تحدث بين بعض الذرات في وجود الميونات .

وقد عبر العالم الفاريز عن هذا الاكتشاف أثناء منحه جائزة نوبل عام ١٩٦٨ بقوله « نحن نعتقد أن مشكلات الطاقة بالنسبة للإنسان قد حلت حتى نهاية الزمان » .

والميونات وحدات أولية من وحدات المادة ، وهي توجد طبيعيا في الأشعة

الكونية الثانوية ، وهى الأشعة التى تنتج من اصطدام الأشعة الكونية الأولية الواردة إلينا من أغوار الفضاء بجزيئات الغازات المكونة للهواء فى طبقات الجو العليا .

والميونات جسيمات سالبة التكهرب تشبه الإلكترونات فى شحنتها ، إلا أن كتلتها تزيد كثيرا على كتلة الإلكترونات ، وقد تصل كتلة « الميون » إلى نحو ٢٠٧ مرات قدر كتلة الإلكترون ، وهذه الكتلة الكبيرة هى التى تساعد على عملية الاندماج النووى .

والميونات جسيمات غير ثابتة ، فهى تنحل بسرعة هائلة تصل فى المتوسط إلى نحو جزءين من مليون جزء من الثانية ، ويعتبر هذا الانحلال السريع للميونات أهم عقبة فى طريقة الاندماج النووى البارد .

وقد أجرى منذ ذلك الحين كثير من التجارب على اندماج ذرات الهيدروجين بتأثير الميونات ، وتم فى هذه التجارب دراسة تأثير درجات الحرارة على تفاعل الاندماج .

فقد أجريت بعض هذه التجارب فى درجات الحرارة المعتادة وأجرى بعضها الآخر فى درجات حرارة بالغة الانخفاض ، عند درجة حرارة الهيدروجين السائل أو الصلب ، أى عند نحو ١٢° « كلفن » ( وحدة الحرارة المطلقة ) ، وهى تساوى -٢٦٠° مئوية تحت الصفر .

كذلك أجريت تجارب أخرى فى غاز الهيدروجين الساخن ، وتبين من مختلف هذه الدراسات أن درجة الحرارة المناسبة لحدوث تفاعل الاندماج النووى فى وجود الميونات ، هى ٩٠٠° مئوية ، وهى درجة حرارة منخفضة جدا بالمقارنة مع درجة حرارة المائة مليون درجة مئوية المطلوبة لحدوث تفاعل الاندماج النووى بالطريقة السابقة ، ولذلك يطلق على هذه الطريقة اسم الاندماج النووى البارد .

ويستخدم فى هذا التفاعل غاز الهيدروجين المعتاد ، كما قد يستعمل خليطا من كل من الديوتيريوم والتريتيوم ، وهما من نظائر غاز الهيدروجين .

ويحتوى هذا الخليط على ثلاثة أنواع من الجزيئات ، فيتكون أحدهما من ذرتين من الديوتيريوم ، ويتكون ثانيهما من ذرتين من التريتيوم ويتكون الثالث من ذرة من كل من الديوتيريوم والتريتيوم .

وعندما يخترق « الميون » هذا الخليط ، فإنه يفعل ذلك بسرعة هائلة فى أول الأمر ، ثم يبطئ كثيرا بعد ذلك نتيجة لاصطدامه بالإلكترونات الذرات .





ديوتيريوم - تريتيوم



تريتيوم - تريتيوم



ديوتيريوم - ديوتيريوم

شكل ٦ - ١ خليط الديوتيريوم والتريتيوم

وينتج عن هذه الاصطدامات أن تترك بعض الالكترونات مداراتها ، وتحل بعض الميونات محلها ، خاصة تلك الميونات التي تصل سرعتها إلى حدود مناسبة . ونظرا لارتفاع كتلة الميون التي تصل إلى نحو ٢٠٧ مرة قدر كتلة الالكترون ، فإن الميونات التي تحل محل الالكترونات في مداراتها ، تكون قريبة جدا من نواة الذرة التي حلت فيها .

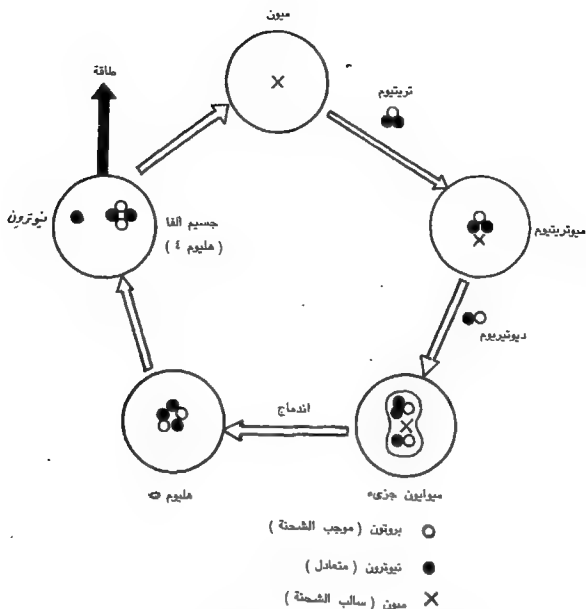
وعندما يتخذ الميون هذا الوضع القريب جدا من النواة ينحل الجزيء وتتفصل ذراته ، ويكون الميون مع نواة الذرة وحدة منفصلة تسمى « ذرة ميون » "Muatom" ، وتكون هذه الذرة أكثر ثباتا في حالة التريتيوم لأنها الذرة الأثقل ، وبذلك يكون ارتباط الميون مع نواة التريتيوم أكثر قوة .

وعندما تصطدم ذرة « ميوتريتيوم » مع نواة ذرة ديوتيريوم يتكون منهما « ميو - أيون - جزيء » يندمج إلى نوع من الهليوم يعرف باسم « هليوم ٥ » ، لأنه يحتوي على بروتونين موجبيين وثلاثة نيوترونات .

وتنحل نواة « الهليوم ٥ » في الحال إلى جسيم الفا ، وهى نواة الهليوم العادى ، وتتكون من بروتونين موجبيين ونيوترونين متعادلين ، وينطلق في هذا التفاعل نيوترون حر ، كما ينتج عنه قدر كبير من الطاقة يمكن استغلاله .

ويمكن تمثيل دورة تفاعل الاندماج النووى البارد كما في شكل ٦ - ٢ .

وهناك كثير من البحوث التي تدور حاليا في هذا المجال ، في كثير من الدول ، مثل معامل لوس الاموس للميزونات بالولايات المتحدة "Los Alamos Meson Physics Facility" وجامعة برنستون ، وفي المعهد السويسرى للبحوث النووية "SIN" وفي النمسا والمانيا الغربية وفرنسا واليابان .



شكل ٦ - ٢ دورة تفاعل الاندماج النووي البارد

كما أن هناك برنامجا دوليا للبحث في هذا المجال في جامعة برمنجهام ببريطانيا ، وآخر لبحث بعض المشاكل النظرية المتعلقة به في جامعة فلوريدا بالولايات المتحدة .

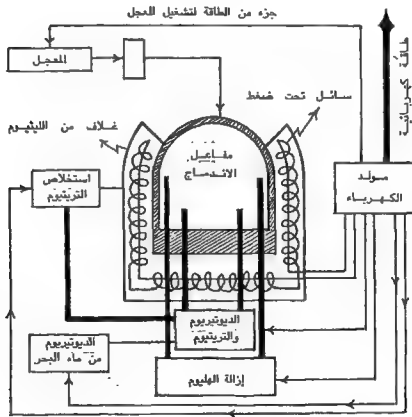
ويتناول بعض هذه البحوث شكل الجهاز الذي يمكن استخدامه للحصول على الطاقة من تفاعل الاندماج النووي بهذا الأسلوب ، بشكل يمكن معه استغلال هذه الطاقة في الأغراض الصناعية ، وتمت بعض هذه البحوث في المركز الأوروبي للبحوث النووية "Centre Européen de Recherche Nucléaire" "CERN". "léaire" وتبين من هذه الدراسات أنه يمكن إنتاج الميونات معمليا ، بتوجيه حزمة من الايونات الصادرة من أحد المعجلات النووية إلى هدف من الديوتيريوم والتريتيوم .

وقد قدم « يو بروف » "Yu Petrov" من علماء معهد لننجراد للطبيعة النووية بالاتحاد السوفيتي ، في عام ١٩٨٠ ، نموذجا لمفاعل لانتاج الطاقة بواسطة الميونات ، على أساس احداث مائة اندماج نووى لكل ميون .

وقد قدم مجموعة من العلماء في جامعة تكساس بالولايات المتحدة نموذجا مماثلا لانتاج الطاقة بالاندماج النووي البارد ، والمفاعل المقترح لا تزيد تفاصيله عن التفاصيل المبينة بالشكل التالى .

ويتكون هذا المفاعل من معجل للجسيمات النووية تخرج منه حزمة من الايونات توجه إلى هدف من الديوتيريوم والتريتيوم ، فتتكون حزمة من الميونات .

وتوجه حزمة الميونات الناتجة إلى مفاعل الاندماج الذى يحتوى على خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ، وبعد حدوث الاندماج النووى تنطلق النيوترونات الناتجة لترتطم بجدار المفاعل المغلف بغلاف من الليثيوم فيتكون خليط من



شكل ٦ - ٣ مفاعل الاندماج النووي البارد

التريتيوم والهليوم ، ويفصل الهليوم وحدة ، ثم يعاد التريتيوم إلى مفاعل الاندماج .

وتستغل الحرارة الناتجة من تفاعل الاندماج النووي في تسخين سائل يمر تحت ضغط معين في غلاف المفاعل ، وتحويله إلى بخار مضغوط ، ثم يستخدم هذا البخار في تشغيل توربين عالي الضغط لإنتاج الكهرباء .

ويستعمل جزء من الكهرباء الناتجة في تشغيل المعمل النووي وفي إدارة مضخات المفاعل بينما يستغل الجزء الأكبر من الكهرباء في كثير من الأغراض .

ومن المتوقع أن تكفل بالنجاح بحوث الاندماج النووي البارد في بداية القرن القادم ، ويمكن بذلك استخدام هذه الطريقة في إنتاج قدر كبير من الطاقة ، ولا شك أن ذلك سيساهم إلى حد كبير في حل مشاكل الطاقة المتوقعة في بداية القرن الواحد والعشرين .

## الموقف من الطاقة النووية اليوم

اشتد الصراع بين مؤيدي استخدام الطاقة النووية الذين يرون أنها حيوية تماما في عالم اليوم ، وبين أولئك الذين يعارضون استغلال هذه الطاقة ، ويرون فيها خطرا كبيرا .

ويرى المؤيدون لاستغلال الطاقة النووية أن عالم اليوم يحتاج كل شيء فيه احتياجا شديدا لمزيد من الطاقة ، وأن التقدم العلمي والتكنولوجي وارتفاع مستوى معيشة الشعوب سيفرض علينا أن نبحث عن مصادر جديدة للطاقة ، وأن أحد هذه المصادر التي لا غنى عنها سيكون بالضرورة الطاقة النووية .

ويرى هؤلاء المؤيدون أن تكاليف إنتاج الكهرباء عن طريق الطاقة النووية ، أقل كثيرا من تكاليف إنتاجها من الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعي ، فقد جاء في دراسة قامت بها شركة « المفاهيم العلمية » " Science Concept " وهي شركة استشارية بولاية مرييلاند بالولايات المتحدة ، أنه لو أن المرافق التي تدار حاليا بالطاقة النووية كانت تدار بالفحم أو بالبترول ، لكان على المستهلكين أن يدفعوا تكاليف إضافية أكثر مما يدفعون حاليا .

ويعتقد هؤلاء المؤيدون أن المصادر التقليدية للطاقة المعروفة لدينا اليوم ، وهي المصادر الحفرية غير المتجددة ، مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعي ، لن

تبقى طويلا ، بل من المتوقع أن تنضب هذه المصادر المستخرجة من الأرض خلال السنوات القليلة الأولى من القرن القادم ، في الوقت الذي قد تكون فيه بعض المصادر المتجددة الأخرى ، مثل الطاقة الشمسية ، و طاقة الرياح ، وحرارة باطن الأرض وغيرها ، ما زالت في طور البحث والدراسة ، وقد يكون استغلالها باهظ التكاليف أو يصعب استغلالها على نطاق تجارى على أحسن تقدير .

ويرى المعارضون لاستخدام الطاقة النووية أن مستقبل هذه الطاقة مازال مشكوكا فيه لأسباب متعددة ، منها ما يتعلق ببعض آثارها الضارة على البيئة المحيطة بها ، مثل المخاطر التي قد تنشأ عن تسرب الاشعاعات من المفاعلات أو التلوث الحرارى للمجارى المائية ومخاطر التلوث الناشئ عن المخلفات النووية المشعة .

كذلك تواجه الطاقة النووية عائقا كبيرا ، وهو أن كمية اليورانيوم المعروفة لنا حتى اليوم ما زالت محدودة جدا ، فهي لا تزيد على ٤,٣ مليون طن من اكسيد اليورانيوم طبقا لبيانات الوكالة الدولية للطاقة النووية ، وهي تمثل كميات اكسيد اليورانيوم التي تتوافر حاليا بصفة محققة ، ويمكن استغلالها بطريقة اقتصادية وبتكلفة معقولة .

ولا ينتظر أن تكفى هذه الكميات استهلاك ذلك العدد الكبير من المحطات النووية التي تنتشر اليوم في كل بلدان العالم الا لنحو ٤٠ عاما ، أى حتى عام ٢٠٣٠ على أحسن تقدير .

ويترتب على ذلك أن استغلال الطاقة النووية لا ينتظر أن يدوم بعد تلك الفترة الا إذا تم الاعتماد على المفاعلات المولدة التي تنتج البلوتونيوم ، وهو ما يسبب مزيدا من القلق والتخوف من امكانية استخدام البلوتونيوم في بعض البلدان لصناعة الاسلحة النووية المدمرة عند اللجوء إلى المفاعلات المولدة .

وهناك لجماع متزايد بصفة عامة على أنه إذا ما أريد للمفاعلات النووية المستخدمة في إنتاج وتوليد الكهرباء ، أن تزدهر وتنتشر ، فانها يجب أن تصبح أكثر بساطة في تركيبها ، وأقل تكلفة من تكلفتها الحالية ، ولا يرقى الشك إلى سلامتها ابدا حتى يمكن تجنب مخاطر هذه المفاعلات .

وربما كانت تفاعلات الاندماج ، وهي أقل خطورة من تفاعلات الانشطار ، هي الحل الأمثل لإنتاج الطاقة النووية في عالم الغد .



## الطاقة الشمسية

تعتبر الطاقة الواردة إلينا من الشمس من أهم أنواع الطاقة التي يمكن للإنسان استغلالها ، فهي طاقة دائمة ، تشع علينا كل يوم بنفس المقدار ، ولا ينتظر أن تغنى طالما كانت الشمس تشرق علينا كل يوم ، كما أنها تتوفر في أغلب مناطق سطح الأرض .

والطاقة الشمسية طاقة نظيفة ، لا ينتج عن استخدامها غازات أو نواتج ثانوية ضارة بالبيئة ، كما في حالة أنواع الوقود التقليدية من الفحم وزيت البترول ، ولا تترك وراءها مخلفات على درجة من الخطورة مثل النفايات المشعة التي تتخلف عن استعمال الطاقة النووية .

ويتدفق من الشمس كل يوم مقادير هائلة من الطاقة على هيئة سيل لا ينقطع ، ولكن سطح الأرض لا يتلقى من هذه الطاقة سوى قدر ضئيل جداً لا يزيد على جزء من ألفي مليون جزء من الطاقة الكلية التي تشعها الشمس في الفضاء ، وذلك لصغر حجم الأرض ، وبعدها الكبير عن الشمس .

وعلى الرغم من صغر هذا القدر من الطاقة بالنسبة للطاقة الكلية الصادرة من الشمس ، إلا أنه يمثل بالنسبة إلينا قدراً هائلاً يفي بكل احتياجاتنا على سطح الأرض .

ولو أننا حولنا هذه الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ، لنتج عن ذلك نحو ٤٠٠٠ مليون كيلوات ساعة في اليوم الواحد ، وهي كمية هائلة من الطاقة الكهربائية تفي باحتياجات كل سكان الكرة الأرضية مرات ومرات ، وتبلغ نحو ٥٠٠,٠٠٠ مرة قدر الطاقة الكهربائية التي تنتجها دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة .

والطاقة الشمسية على درجة قصوى من الأهمية ، فهي لازمة لوجود الحياة على سطح الأرض ، كما أن أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم وزيت البترول ما هي إلا نتاج لبعض العمليات الطبيعية التي يتم فيها اختزان جزء من طاقة الشمس بواسطة النباتات ، ويعنى ذلك أن الطاقة التي توفرها لنا هذه الأنواع التقليدية من الوقود ، هي أصلاً طاقة مستمدة من طاقة الشمس .

ويعنى ذلك أيضا أن الانسان يعتمد على النباتات في تحويل طاقة الشمس إلى صور أخرى مثل الفحم والبتروى يستطيع أن يستغلها في أوجه نشاطه المختلفة ، ولم يستطع بعد أن يستخدم طاقة الشمس استخداما مباشرا بصورة مرضية .

وفكرة استخدام الطاقة الشمسية في التسخين أو في تحريك الآلات ليست جديدة على الإطلاق ، فقد طافت هذه الفكرة بمخيلة بعض المفكرين والفلاسفة منذ قديم الزمان .

ويحدثنا التاريخ أن ارشميدس الذى عاش في القرن الثالث قبل الميلاد قد استخدم أشعة الشمس في إحراق بعض سفن العدو في إحدى المعارك البحرية ، ومن المعتقد أنه استخدم لهذا الغرض بعض المرايا أو دروع الجنود لتركيز أشعة الشمس على صواري هذه السفن .

وهناك كثير من الدراسات النظرية المتعلقة باستخدام أشعة الشمس كمصدر للطاقة ، كما أن هناك بعض التجارب العملية التى أجريت في هذا المجال .

ويرجع تاريخ بعض هذه التجارب إلى القرن التاسع عشر ، ومن أمثلتها آلة بخارية ابتكرها رجل فرنسى يدعى « اوجستين موشو ، Augustin Mouchot » عام ١٨٦٦ ، وكذلك آلة الطباعة التى كانت تدار بالطاقة الشمسية وتم عرضها في باريس عام ١٨٨٢ .

ولم تلق فكرة استخدام الطاقة الشمسية في تحريك الآلات قبولا حسنا عند كثير من الناس ، وكان هناك اعتقاد بأنها عملية غير اقتصادية ، وأنها لن تصلح للاستغلال كمصدر للطاقة على نطاق واسع ، وستبقى فوائدها محدودة ، وإن تتعدى مرحلة التجارب العلمية المبتكرة .

وقد تغيرت هذه الفكرة كثيرا في السبعينات ، وذلك في أعقاب الحظر على البترول العربى وارتفاع أسعاره في الأسواق العالمية ، عندما أحست الدول الغربية وبغيرها من الدول الصناعية بحاجتها الشديدة للبحث عن مصادر جديدة للطاقة .

وقد اعتمدت أغلب هذه الدول ميزانيات ضخمة لبحوث الطاقة ، منذ ذلك الحين ، خاصة وأن هناك احتمالات كبيرة في نقص انتاج البترول وغيره من أنواع الوقود غير المتجددة ، والتى ينتظر أن تبدأ في النضوب في بداية القرن القادم .

وقد أخذت الطاقة الشمسية بذلك وضعها اللائق بين المصادر الجديدة والمتجددة للطاقة ، التى يجب دراستها وتطويرها واستغلالها على أوسع نطاق ،



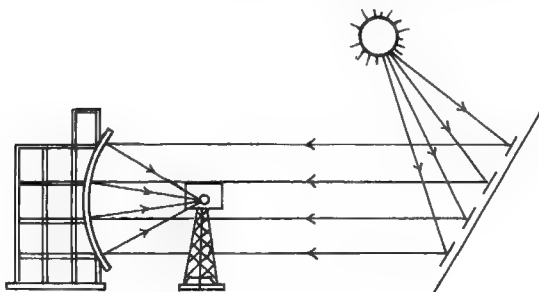
وتعددت الطرق المقترحة للاستفادة من الطاقة الشمسية مثل استخدام المرايا العاكسة لتجميع ضوء الشمس ، أو ابتكار طرق لتجميع حرارة الشمس وامتصاصها ، أو تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بواسطة البطاريات الشمسية .

## استخدام العاكس الشمسي

تستخدم في هذه الطريقة بعض المرايا أو الشرائح المعدنية ذات السطح اللامع مثل شرائح الألومنيوم المصقول .

وترتب هذه المرايا أو الشرائح المعدنية بشكل دائري بحيث يمكن تجميع أشعة الشمس المنعكسة منها في بؤرة واحدة ، وتصل درجة الحرارة في هذه البؤرة إلى حدود عالية ويمكن عندئذ استخدامها في صهر الفلزات أو في إنتاج البخار لتوليد الكهرباء .

وتحتاج هذه الطريقة إلى استخدام تجهيزات معقدة نوعا ما ، ومثال ذلك أن إنتاج ٥٠٠ ميغاوات من الكهرباء يحتاج إلى عاكس يتكون من مرايا تبلغ مساحته نحو ٢,٥ كيلو متر مربع يتوسطها برج خاص ارتفاعه ٤٥٠ مترا كي يستطيع أن يتلقى الطاقة المتجمعة في بؤرة هذا العاكس .



شكل ٧ - ١ العاكس الشمسي

وقد أقامت فرنسا مركزا من هذا النوع للاستفادة من الطاقة الشمسية في جبال البرانس ، وزعت فيه المرايا العاكسة على واجهة مبنى كبير يبلغ ارتفاعه نحو عشرة طوابق ، وأقيم أمام هذا المبنى برج عال بحيث يقع هذا البرج في بؤرة

المرايا . ويبلغ ارتفاع هذا البرج نحو خمسة طوابق وهو يستقبل الطاقة الشمسية المركزة لاستخدامها في بعض الأغراض الصناعية .

وقد اقيم مشروع آخر مماثل في « البوكيرك » بولاية نيومكسيكو بالولايات المتحدة . ويشتمل هذا المشروع على برج مرتفع من الصلب والخرسانة ، يبلغ ارتفاعه نحو سبعين مترا من سطح الأرض ، وتحيط بهذا البرج مجموعة من العاكسات الشمسية التي تعرف باسم « هليوستات » ، ويبلغ عددها نحو ٢٢٢ وحدة تحمل كل منها ٢٥ مرآة عاكسة ، وهي تركز قدرا من طاقة الشمس يصل إلى ٥ ميجاوات على مستقبلات خاصة تقع عند قمة البرج ، وهو قدر من الطاقة لا بأس به ويكفي لإدارة محطة ارسال للراديو .

وحدات الهليوستات وحدات متحركة ، ويقوم حاسب الكترونى خاص بالتحكم في حركتها وزواياها بحيث تتبع حركة الشمس طوال اليوم . ويخطط القائمون على هذا المشروع لتطويره لتوليد الطاقة الكهربائية .

وهناك مشروع مماثل أيضا اقيم في مكان قريب من مدينة « ويلارد » بولاية نيومكسيكو بالولايات المتحدة ، تدير فيه الحرارة الناتجة من العاكسات الشمسية توربينات كبيرة يضخ نحو ٧٠٠ جالون من الماء في الدقيقة الواحدة ، من بئر جوفية ، وتستعمل هذه المياه لرى الاراضى الزراعية المحيطة بهذا المشروع .

كذلك اهتمت سويسرا بمثل هذه المشروعات ، فعهدت إلى « مؤسسة باتل الدولية » لتنفيذ مشروعاتها التى تستغل الطاقة الشمسية ، وأهم هذه المشروعات اقامة محطة للطاقة الشمسية في أعلى جبال الألب ، هذا بخلاف ٤٠ محطة أخرى تنوى حكومة سويسرا بنائها على منحدرات الجبال لتغطى نحو ١٠٪ من احتياجاتها من الطاقة في نهاية هذا القرن .

## تجميع حرارة الشمس

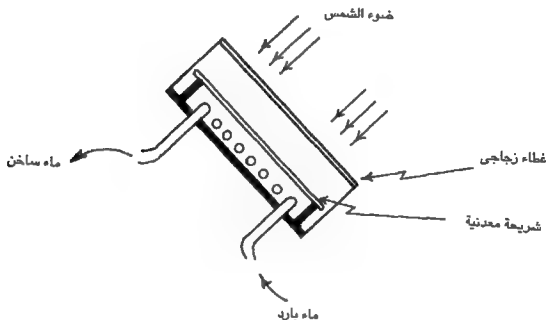
تعتمد هذه الطريقة على امتصاص جزء من الطاقة الحرارية للشمس وتجميعها طوال اليوم لاستخدامها في عمليات التسخين والتدفئة .

وقد تم ابتكار كثير من الأجهزة البسيطة التى تقوم بهذا الغرض ، واستعمل بعضها حديثا في المنازل وفي الفنادق والمتاجر لتوفير المياه الساخنة والتدفئة ، ومن المنتظر أن يعم استعمال هذه الأجهزة في السنوات القليلة القادمة .

ويتكون جهاز تجميع حرارة الشمس في أبسط صورة من شريحة مستوية

من الألومنيوم أو النحاس أو الصلب ، وهى توضع فى مواجهة أشعة الشمس المباشرة فترتفع حرارتها ارتفاعا ملحوظا .

وعادة ما تطلّى هذه الشرائح المعدنية باللون الاسود لتقليل انعكاس الضوء من سطحها ولزيادة قدرتها على امتصاص الحرارة ، كما يتم عزلها عن الجو المحيط بها حتى لا تتسرب منها الحرارة .



شكل ٧ - ٢ جهاز مبسط لتجميع حرارة الشمس

وتغطى هذه الشرائح كذلك بغطاء من الزجاج أو البلاستيك لزيادة كفاءتها ، وذلك لأن هذا الغطاء يسمح بمرور الاشعة ذات الموجات القصيرة ، وعند مرور هذه الموجات فى الزجاج أو البلاستيك تتحول إلى اشعة طويلة الموجات ، وهذه الأخيرة لاتستطيع المرور فى الزجاج أو البلاستيك مرة أخرى ، وبذلك تبقى داخل الجهاز وترفع درجة حرارته .

وتشبه هذه العملية ما تقوم به الصوبات الزجاجية التى تستخدم فى زراعة الزهور والنباتات .

وتوضع هذه الاجهزة البسيطة فوق اسطح المباني أو أى مكان مرتفع بحيث تواجه أشعة الشمس أطول مدة ممكنة .

وعند إمرار الهواء أو الماء فى جهاز التجميع ، تنتقل منه الحرارة إلى هذا

الوسط المائع الذى ترتفع درجة حرارته ويستخدم بعد ذلك فى نقل الحرارة الى المنزل أو المتجر أو الفندق .

وهناك من يرى أن استعمال الهواء فى هذه الاجهزة انسب كثيرا من إستعمال الماء ، وذلك لأن الهواء لا يسبب مشاكل عند تسريه ولاينتج عنه الصدا ، ولكن الماء أفضل كثيرا من الهواء لأن الماء أكثر كفاءة فى نقل الحرارة ، ولذلك يغلب استخدام الماء فى هذه الاجهزة .

ونظرا لأن أشعة الشمس لايسطع ضوؤها كل يوم فى كثير من البلدان الاوروبية ، فقد فكر العلماء هناك فى إيجاد طريقة لتخزين حرارة الشمس بالنهار عند سطوع الشمس لاستخدامها بعد ذلك ليلا أو فى الاوقات التى تغيب فيها الشمس وراء السحب .

وقد استخدمت لهذا الغرض خزانات ضخمة تحت سطح الأرض لتخزين الماء الساخن فيها بعد أن يمر فى أجهزة تجميع حرارة الشمس .

وتصل درجة حرارة الماء المار فى أجهزة تجميع حرارة الشمس إلى نحو ٦٠°م ، وقد تصل فى بعض هذه الاجهزة إلى ٩٠°م .

وهناك طريقة أخرى لتخزين الماء الساخن فى بعض الفراغات بين الصخور فى باطن الأرض ، ولكن ذلك يتطلب نوعا خاصا من التربة والصخور غير المسامية .

ولايمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية استفادة كاملة فى المناطق الباردة التى يغطى السحاب سماءها ، ولكن يمكن ذلك فى المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية التى يغمرها ضياء الشمس كل يوم على مدار العام .

### **البطاريات الشمسية : Solar Batteries**

تركزت البحوث الجديدة المتعلقة باستخدام الطاقة الشمسية على إمكانية تحويل هذه الطاقة الى طاقة كهربائية بطريقة مباشرة ، باعتبار أن الطاقة الكهربائية اليوم تعتبر من أهم انواع الطاقة التى ينتشر إستخدامها فى المنازل والمتاجر والمصانع ودور اللهو وفى كل مكان .

وقد تركزت هذه البحوث بصفة خاصة على البطاريات الشمسية التى تحول ضوء الشمس إلى تيار كهربائى محسوس دون استخدام وسيط .

وتتكون البطارية الشمسية من عدة خلايا تتكون كل منها من فلز السيليكون الذى اضيفت اليه بعض الشوائب لتغيير خصائصه الكهربائية .

وكى نتفهم المبدأ الذى تقوم عليه هذه البطاريات ، يجب علينا أن نتذكر أن الذرة تتكون من نواة مركزية موجبة التكهرب ، يدور حولها عدد من الالكترونات السالبة ، ولهذا فان الذرة فى حالتها الاساسية الطبيعية تكون متعادلة .

وتحدث التفاعلات الكيميائية بين الذرات لتكوين المركبات عن طريق الالكترونات التى تشغل المدارات الخارجية فى هذه الذرات ، بينما لاتتأثر الالكترونات التى تشغل المدارات الداخلية ولا انوية هذه الذرات بهذه التفاعلات .

وهذه الالكترونات التى تشغل المدارات الخارجية للذرات هى التى تملك قدرا من الحرية ، وهى الاساس فى عمل البطاريات الشمسية .

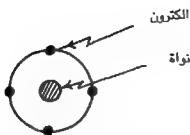
وتحتوى ذرة السليكون على اربعة الكترونات فى مدارها الخارجى ، ولكن هذا المدار يستطيع أن يستوعب ثمانية الكترونات ، ولهذا فان ذرات السليكون عندما تقترب فى شبكية البلورة تتخذ اوضاعا خاصة بحيث تصبح كل ذرة محاطة باربعة ذرات اخرى وتشارك كل منها مع الاخرى فى الكترونين ، وبذلك فان كل ذرة من ذرات السليكون فى البلورة تصبح محاطة بثمانية الكترونات ، تشارك فيها كل ذرة بأربعة الكترونات من مداراتها الخارجية وتشارك الذرات المحيطة بها فى اربعة الكترونات أخرى بواقع الكترون واحد من كل منها .

واذا تصورنا أن أحد هذه الالكترونات المشتركة بين ذرات السليكون قد استمد طاقة من مصدر خارجى ، عن طريق شعاع من الضوء أو بواسطة تيار كهربائى ، فان هذا الالكترون تصبح طاقته اكبر من طاقة بقية الالكترونات الاخرى ، وستساعده هذه الطاقة الزائدة على التحرر من جذب نواة الذرة ، وعندئذ سينطلق هذا الالكترون بحرية داخل بلورة السليكون ، تاركا وراءه مكانا خاليا يسمى مجازا باسم « ثقب » **hole** .

ونظرا لأن الذرة متعادلة فى حالتها الطبيعية ، فان انطلاق الكترون سالب بعيدا عن هذه الذرة يترك خلفه شحنة موجبة زائدة على نواتها ، وعلى ذلك فان وجود ثقب حول إحدى الذرات يدل على وجود شحنة موجبة على هذه الذرة .

وقد ينتقل الثقب من ذرة إلى أخرى ، وفى حقيقة الامر فان الثقب لاينتقل انتقالا فعليا ، ولكن ذلك يتم عن طريق انتقال الالكترونات ، فقد ينتقل الكترون من ذرة أخرى مجاورة ليملا هذا الثقب ، وبذلك فانه سيتحرك مكانه ثقبا فى الذرة الاخرى ، ويمكننا بهذا التصور أن نقول أن الثقوب تنتقل من مكان لآخر داخل البلورة مثلما تفعل الالكترونات .

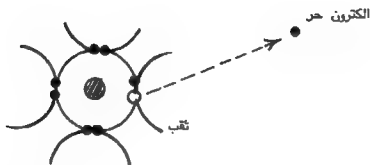
ولايعنى إنتقال الالكترونات أو تحرك الثقوب داخل البلورة أن بلورة



ذرة سليكون يحيط بها أربعة الكترونات مدارها الخارجى



ذرة سليكون محاطة بأربعة ذرات أخرى في البلورة ، وحولها ثمانية الكترونات



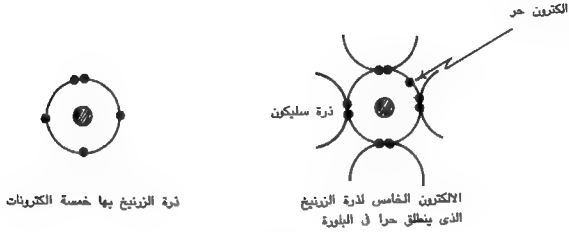
شكل ٧ - ٣  
الثقب الذى يتكون نتيجة لتحرير الكترون وانطلاقه

السليكون قد فقدت تعادلها وأصبحت مشحونة بالكهرباء ، وذلك لانه بالرغم من هذه التحركات بين الثقوب والالكترونات ، فان عدد الثقوب الموجبة يظل مكافئاً لعدد الالكترونات السالبة في داخل البلورة .

ولو أننا اضعفنا إلى بلورة السليكون أثارا من عنصر الزرنيخ فان توزيع الالكترونات والثقوب في بلورة السليكون سيختلف كثيراً عن الصورة السابقة .

ومهما كانت آثار الزرنيخ المضافة إلى بلورة السليكون ، ضئيلة ، فان هذه الآثار الضئيلة ستحتوى على عدد كبير من ذرات الزرنيخ ، وسترتبط هذه الذرات الجديدة مع ذرات السليكون داخل البلورة .

وتحتوى ذرة الزرنيخ في مدارها الخارجى على خمسة الكترونات ، وعندما ترتبط هذه الذرة مع أربع ذرات من السليكون ، فان كل ذرة من ذرات السليكون تقوم بتقديم الكترون واحد كما سبق أن بينا ، وتقوم ذرة الزرنيخ بتقديم أربعة الكترونات إلى ذرات السليكون الأربع المحيطة بها للمشاركة في تكوين رباط معها ، ويتبقى بذلك الكترون مفرد واحد على ذرة الزرنيخ وهو الالكترون الخامس الموجود بها ، وهذا الالكترون يتحول بهذا الوضع الى الكترون حر طليق .



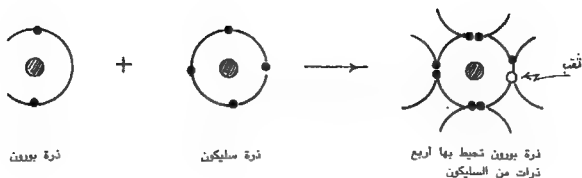
شكل ٧ - ٤

ويتبين من ذلك أن إضافة قدر ضئيل من عنصر الزرنيخ إلى بلورة السليكون ، يؤدي إلى وجود عدد كبير من الالكترونات الحرة الطليقة ، وبالرغم من ذلك فان البلورة تبقى متعادلة كهربائيا ، لان عدد الالكترونات يظل مساويا لعدد الشحنات الموجبة الموجودة على النواة في كل الذرات .

ويحدث شيء مماثل عند إضافة آثار من عنصر البورون إلى بلورة السليكون ولكنه يختلف في طبيعته شيئا ما .

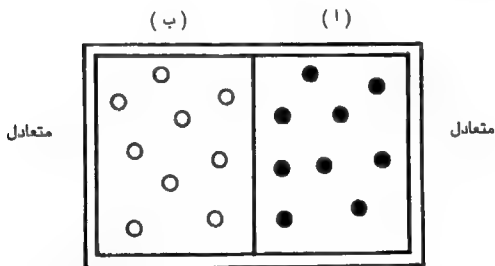
وتحتوى ذرة البورون في مدارها الخارجى على ثلاثة الكترونات فقط ، وعندما ترتبط ذرة البورون في البلورة بأربع ذرات من السليكون فان كل ذرة سليكون تقدم الكترونا واحد لتكوين رباط مع ذرة البورون ، ولكن ذرة البورون لاتستطيع أن تقدم الا ثلاثة الكترونات فقط ، وبذلك يتبقى لدينا مكانا خاليا في الرباط الواقع بين ذرة البورون وذرة السليكون الرابعة ، وينشأ بذلك ثقب حول ذرة البورون .

ونظرا لوجود اعداد كبيرة من ذرات البورون في بلورة السليكون ، فانه يصبح عندنا عدد كبير من هذه الثقوب الموجبة .



شكل ٧ - •

ولنفرض الآن أن لدينا بلورة سليكون يحتوى نصفها على الزرنيخ ويحتوى نصفها الآخر على البورون ، فانتنا نلاحظ أن نصف البلورة المحتوى على الزرنيخ (أ) ( فى الشكل ٧ - ٦ ) ، سيحتوى على عدد كبير من الالكترونات الطليقة ( الناتجة من الالكترون الخامس لذرة الزرنيخ ) ، وعلى حين أن نصف البلورة الثانى الذى يحتوى على البورون (ب) سيكون به عدد كبير من الثقوب الخالية من الالكترونات ، ولكن ذلك لن يؤثر على حالة التعادل فى البلورة ، وسيظل كل من نصفى البلورة متعادلا كهربائيا .

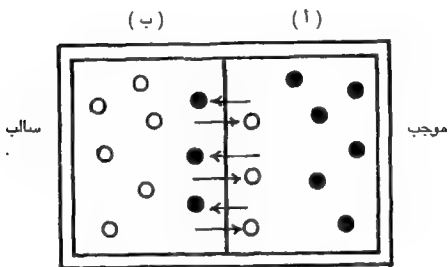


- ( ١ ) نصف البلورة المحتوى على الزرنيخ ، وبه الالكترونات سالبة طليقة ( متعادل ) ●  
 ( ب ) نصف البلورة المحتوى على البورون ، وبه ثقوب موجبة ( متعادل ) ○

شكل ٧ - ٦



وبما أن الالكترونات الطليقة تتحرك بحرية داخل البلورة ، فإننا سنجد أن بعضاً من هذه الالكترونات قد انتقل من النصف المحتوى على الزرنيخ (أ) إلى النصف المحتوى على البورون (ب) ، كما أن بعضاً من الثقوب سينتقل من النصف المحتوى على البورون (ب) إلى النصف المحتوى على الزرنيخ (أ) ، وبذلك تتوزع الالكترونات والثقوب في نصفي البلورة .



نصفاً البلورة عند بلوغ حالة الاتزان :

● الالكترونات طليقة سالبة  
○ ثقوب موجبة

شكل ٧ - ٧

وبما أن نصفي البلورة كانا متعادلين اصلاً ، فإنه سيتربط على حركة كل من الالكترونات والثقوب ، حدوث خلل بحالة التعادل ، فتظهر شحنة موجبة على الجزء (أ) المحتوى على الزرنيخ عندما تنتقل اليه بعض الثقوب ، وتظهر شحنة سالبة على الجزء (ب) المحتوى على البورون ، عندما تنتقل اليه بعض الالكترونات .

ولا يستمر تبادل الالكترونات والثقوب بين نصفي البلورة الى الابد ، ولكن هذا التبادل يتوقف عندما تظهر شحنات سالبة أو موجبة كافية على نصفي البلورة بحيث تستطيع أن تمنع انتقال الالكترونات والثقوب خلال سطح الانفصال .

ويتم ذلك عندما يصبح نصف البلورة (ب) سالبا بدرجة كافية تجعله يتنافر مع الالكترونات القادمة من (ا) ويمنعها من الانتقال اليه ، ويحدث ذلك ايضا بالنسبة لنصف البلورة الاخر (ا) ، فعندما يصبح هذا النصف موجبا بدرجة كافية ، لن يستطيع أن يستقبل مزيدا من الثقوب ، أو بمعنى آخر تجعله لايفرط في الكترونات اخرى .

وعندما يحدث ذلك ، يقال أن البلورة قد بلغت حالة من الاتزان ، ويكون هناك مجال كهربائى واضح بين نصفي البلورة .

وتتكون البطارية الشمسية من عدد كبير من هذه البلورات أو الخلايا . وتتكون كل خلية من شريحة من معدن السليكون المحتوى على آثار من الزرنيخ ، ويطلق على هذه الشريحة اسم « السليكون السالب » « negative silicon » ويرمز لها بالرمز «n» وذلك لأن هذه الشريحة هي التي تحتوى على الكترونات طليقة ( ا في الشكل ٧ - ٨ ) .

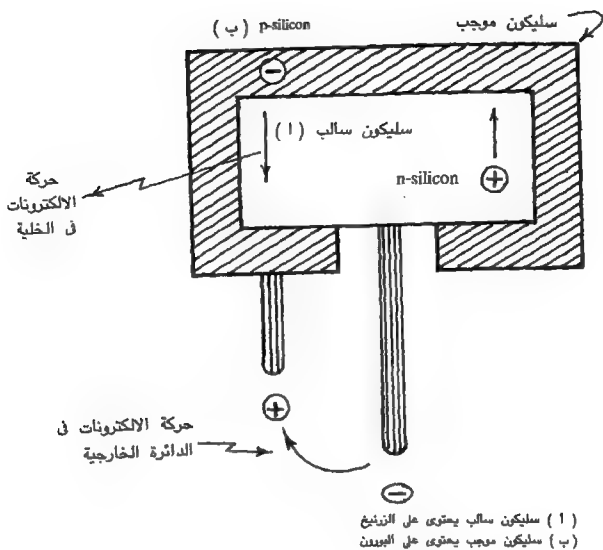
ويحيط بهذه الشريحة اطار من السليكون المحتوى على آثار من البورون ، ويطلق على هذا الاطار اسم « السليكون الموجب » « positive silicon » ويرمز له بالرمز «p» لأن هذا الاطار يحتوى على عدد كبير من الثقوب (ب في الشكل ٧ - ٨ ) .

ويشبه الجزء الخارجى وهو إطار هذه الخلية الذى يحتوى على البورون ، والذي يسمى بالسليكون الموجب ، الجزء (ب) في الرسم السابق ، وهو يحمل شحنة سالبة عند حالة الاتزان لانتقال بعض الالكترونات الطليقة اليه .

كذلك يشبه الجزء الداخلى للخلية المحتوى على الزرنيخ ، والذي يسمى بالسليكون السالب ، الجزء (ا) في الرسم السابق ، ويصبح هذا الجزء موجبا عند حالة الاتزان بسبب فقد بعض الالكترونات ، وانتقال الثقوب الموجبة اليه .

وعندما تسقط اشعة الشمس على هذه الخلية ، تكتسب بعض الالكترونات الموجودة بالجزء (ب) طاقة زائدة فتبدأ في التحرك ، وتختل بذلك حالة الاتزان القائمة بين كل من (ا) ، (ب) ، وتبدأ الالكترونات في الانتقال من الاطار (ب) الى السليكون السالب في الشريحة الداخلية (ا) بينما تتحرك الثقوب من السليكون السالب (ا) إلى الموجب (ب) في الاطار الخارجى ، ويترتب على ذلك اندفاع الالكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب في الدائرة الخارجية .

وعادة ما تتكون البطارية الشمسية العملية من عدد كبير من هذه الخلايا



شكل ٧ - ٨ خلية السليكون

متصلة بعضها ببعض على التوالي ، ويستمر التيار الكهربائي في السريان في هذه الخلية طوال فترة تعرضها لاشعة الشمس .

وتستطيع البطاريات الشمسية أن تحول ١٠٠٠ وات من ضوء الشمس إلى ١٨٠ وات من الكهرباء ، وبذلك لا تزيد كفاءة هذه البطاريات على ١٨٪ وهي كفاءة قليلة نسبياً .

وقد تم استخدام بعض هذه البطاريات الشمسية في توليد الكهرباء فاستعملت في بعض الأقمار الصناعية وبعض مراكب الفضاء ، وكانت كفاءتها لا تتجاوز ١٥٪ فقط .

ومن المنتظر أن تؤدي البحوث الجارية حالياً ، إلى تحسين اداء هذه البطاريات ورفع كفاءتها إلى حدود مناسبة ، خاصة وأن هذه البطاريات تتمتع

بكثير من الميزات ، فهي مصدر نظيف للطاقة لا يترتب على استعماله ظهور نواتج ثانوية ضارة بالبيئة ، كما أنها لا تحتوى على أجزاء متحركة تستنفد جزءا من طاقتها ، مثل التربينات أو الغلايات وما إليها ، كما أن المصدر الذى تستمد منه هذه البطاريات طاقتها ، هي أشعة الشمس ، وهي مصدر دائم لا ينتهى ولا ينتظر أن يفنى فى حياة الانسان .

وهناك بحوث أخرى تتعلق باستخدام بعض المواد الأخرى فى صنع هذه البطاريات ، واحدى المواد المقترحة لهذا الغرض هي كبريتيد الكاديوم ، وتقع أهمية هذه البحوث فى صعوبة توفير المواد اللازمة لصنع هذه البطاريات على نطاق كبير لاستخدامها فى كل أنحاء العالم .

ويمكن توضيح هذه الصعوبة إذا أخذنا دولة صناعية مثل الولايات المتحدة مثلا لذلك ، فنجد أنه إذا ارادت الولايات المتحدة أن تستخدم البطاريات الشمسية فى توليد قدر من الكهرباء يفي باحتياجاتها ، فانهما تحتاج إلى نحو ٢ مليون طن من فلز السليكون لصنع هذه البطاريات ، بينما هي حاليا لا تنتج من هذا العنصر الا نحو ٩٠ طنا فقط فى العام .

كذلك تحتاج هذه البطاريات الشمسية إلى مساحة هائلة من الأرض كي يمكن تعريضها لأشعة الشمس المباشرة ، ويقدر أن البطاريات الشمسية التى تلزم لانتاج الطاقة الكهربائية المطلوبة حاليا فى الولايات المتحدة تحتاج إلى مساحة هائلة تصل إلى نحو ١٪ من مساحة الدولة ، وتبلغ هذه نحو ٩٠,٠٠٠ من الكيلومترات المربعة .

## استخدام الطاقة الشمسية فى الفضاء

هناك أفكار خاصة بإقامة محطات خاصة فى الفضاء الخارجى تحمل البطاريات الشمسية التى تستقبل الطاقة الشمسية وتحولها إلى طاقة كهربائية يتم إرسالها بعد ذلك إلى سطح الأرض .

ومن المعتقد أن إقامة محطة من هذا النوع على ارتفاع ٣٠,٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ، فوق خط الاستواء ، يمكن لها أن تستقبل كمية كبيرة من الطاقة الشمسية ، تزيد بحسب مرات على الطاقة الشمسية التى تصل من خلال الغلاف الجوى إلى سطح الأرض ، كما أن هذه المحطة ستبقى معرضة لأشعة الشمس لمدة ٢٤ ساعة كل يوم على مدار العام .

ومن المقترح أن تتكون هذه المحطة من مجموعة هائلة من خلايا البطاريات

الشمسية على هيئة مجمع يشغل مساحة هائلة ، قد يصل طولها إلى ١٠ كيلومترات وعرضها إلى ٤ كيلومترات على وجه التقريب .

ويمكن نقل الكهرباء التى تولدها هذه البطاريات من أشعة الشمس ، إلى سطح الأرض بواسطة الميكروويف عن طريق محطة ارسال خاصة لتستقبلها محطة استقبال تقوم بتحويلها إلى تيار كهربائى مرة أخرى .

ولابد ان يفقد جزء من الطاقة فى عمليات تحويل تيار الكهرباء إلى موجات الميكروويف ، ثم فى عملية تحويل موجات الميكروويف إلى تيار كهربائى مرة أخرى ، ولكن الجزء المفقود من الطاقة صغير جدا ، وتتم مثل هذه العمليات التحويلية حاليا على سطح الأرض بكفاءة عالية تصل إلى نحو ٩٠٪ تقريبا .

ومن الطبيعى أنه كى يتحقق مثل هذا المشروع الهائل ، فان الأمر يتطلب ضرورة ابتكار بطاريات شمسية جديدة خفيفة الوزن ، وقليلة التكاليف. ، كذلك يحتاج مثل هذا المشروع إلى تصنيع مثل هذه البطاريات على نطاق واسع ، مع ضرورة وجود نظام محكم لنقل هذه الخلايا إلى الفضاء الخارجى ، وتركيبها فى مكانها فى مدار حول الأرض .



# انتاج الطاقة من مياه البحار والمحيطات

قامت كثير من الدول في الاعوام الأخيرة بالبحث عن مصادر جديدة للطاقة ، وقد اتجهت انظار الباحثين في هذا المجال الى مياه البحار والمحيطات لاستخدامها في انتاج الطاقة التي يمكن استعمالها في بعض الأغراض .

وقد تركزت البحوث التي اجريت في هذا المجال في ثلاثة اتجاهات ، فتناولت بعض هذه البحوث امكانية استخدام الفرق في درجة حرارة مياه المحيطات ، ودار بعضها الآخر حول استخدام امواج البحر وتناول بعضها كذلك استخدام ظاهرة المد والجزر في انتاج الطاقة الكهربائية .

## انتاج الطاقة من حرارة مياه البحار

بدأت فكرة استخدام الفرق في حرارة مياه البحار والمحيطات لانتاج الطاقة تراود كثير من العلماء منذ فترة ليست بالوجيزة ، فهي تقدم احتمالات لا بأس بها لتوليد الكهرباء كما أنها تقدم قدرا مناسباً من الطاقة التي يمكن استخدامها في انتاج بعض المواد الأولية .

وتختلف درجة حرارة مياه المحيطات باختلاف الطبقة التي توجد فيها هذه المياه ، فالمياه السطحية للبحار والمحيطات تحتزن قدراً هائلاً من طاقة الشمس التي تقع عليها طوال النهار ، بينما تقل درجة حرارة مياه الأعماق وتظل باردة إلى حد كبير .

ويصل الاشعاع الشمسي إلى ذروته بين مدارى السرطان والجدي عند خطى عرض ٢٣,٥ شمال وجنوب خط الاستواء ، ونظراً لأن سطح الأرض في هذه المناطق يتكون من نحو ٩٠٪ من المحيطات فإن المياه السطحية في هذه المناطق ترتفع درجة حرارتها بشكل ظاهر ، وقد تصل إلى نحو ٣٠° م في المناطق التي تقع على خط الاستواء .

وتتكون طبقة المياه الباردة السفلية نتيجة لذوبان الثلوج الآتية من المناطق القطبية ، ونظراً لبرودة هذه المياه فإن كثافتها تكون مرتفعة ولهذا فهي تهبط إلى

الاعماق وتكون طبقة باردة تحت طبقة المياه السطحية الدافئة ، وتمتد ببطء من القطبين إلى خط الاستواء . وقد تصل درجة حرارة هذه الطبقة الباردة إلى ٤° م على عمق ٦٠٠ متر تحت سطح البحر .

ومن المعروف أن جميع الآلات الحرارية يلزم لادارتها وجود مصدر ساخن ووجود مخرج بارد ، وأن هذا الفارق بين درجتى حرارة المصدر والمخرج هو الذى يعطينا الطاقة أو « الشغل » "work" اللازم لادارة الآلة .

وقد فكر العلماء فى استخدام الفرق بين درجة حرارة المياه السطحية الدافئة وبين درجة حرارة المياه السفلية الباردة ، فى توليد الطاقة المحركة ، وعلى الرغم من صغر هذا الفارق ، إلا أنه يكفى نظريا للاستفادة منه فى توليد الطاقة ، وأن كانت كفاءة المحرك الحرارى الناتج ستكون قليلة إلى حد ما ، وقد لا تزيد على ٢ ٪ .

وبالرغم من قلة كفاءة مثل هذه الآلة الحرارية ، إلا أن هذه الطاقة مجانية ولا تكلف الناس شيئا ، ويشترط لنجاح توليد الطاقة من مياه البحر بهذا الأسلوب ، ألا يقل الفرق فى درجة الحرارة بين طبقتى المياه الدافئة والباردة عن ١٥° م .

وقد كان الفيزيائى الفرنسى « جاك دارسونفال » هو أول من تقدم بأفكار مناسبة للاستفادة من طاقة مياه البحار عام ١٨٨١ ، ومع ذلك فقد كانت أولى المحاولات الناجحة فى هذا الاتجاه فى عام ١٩٢٩ ، وقام بها مهندس فرنسى يدعى « جورج كلود » فأقام محركا صغيرا قوته ٢٢ كيلووات على شاطئ البحر ، استخدم فيه الماء البارد من أعماق البحر عبر أنبوب طويل ، ولم تكن هذه المحاولة ناجحة من الناحية الاقتصادية ، إلا أنها برهنت على امكان تنفيذ هذه الأفكار . وقد بدئ فى تشغيل أول محطة لتوليد الكهرباء تعمل بمبدأ الاستفادة من الطاقة الحرارية للمحيط ، فى الولايات المتحدة فى أغسطس ١٩٧٩ ، وتبين من التجارب التى أجريت فى هذا المجال أنه يجب استعمال ثلاثة أمتار مكعبة من الماء فى الثانية لانتاج ميجاوات واحد من الكهرباء .

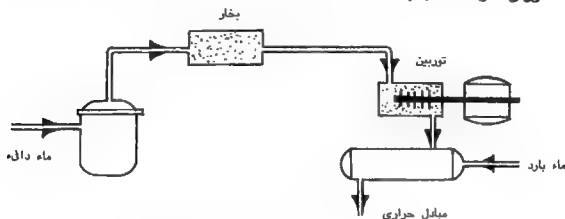
وهناك طريقتان لاستغلال حرارة مياه البحار فى انتاج الطاقة الكهربائية ، تتضمن احدهما استعمال ما يسمى بالدائرة المفتوحة وفيها يستعمل ماء البحر وحده ، على حين تتضمن الاخرى استعمال سائل آخر سريع التطاير بجوار مياه البحر ، وهى تسمى بطريقة الدائرة المقفلة .

وطريقة الدائرة المفتوحة غاية فى البساطة ، ولا يستعمل فيها إلا ماء البحر فقط ، فيدفع ماء سطح البحر الدافئ الذى تكون حرارته نحو ٣٠° م إلى مبخر خاص



تحت ضغط مخلخل يصل إلى نحو ثلاثة أجزاء من مائة جزء من الضغط الجوى المعتاد ، فيتحول هذا الماء إلى بخار يدفع بعد ذلك ليمر على تربين ، ومنه ينتقل إلى مبادل حرارى آخر ليقابل تيارا من الماء البارد الوارد من قاع البحر ، فيتكثف البخار إلى ماء مرة أخرى .

وهذا الفارق فى الضغط بين أول الدائرة ونهايتها هو الذى يدفع التربين إلى الدوران مولدا للكهرباء .



شكل ٨ - ١ طريقة الدائرة المغلقة لإنتاج الطاقة من حرارة مياه البخار

وتحتاج طريقة الدائرة المغلقة إلى استخدام تربين ضخيم يبلغ قطره نحو ثمانية أمتار للحصول على قدر مناسب من الطاقة . كذلك يجب تخليص مياه البحر من الهواء الذائب فيها حتى لا يؤدي هذا الهواء إلى تقليل ضغط البخار وتوقف التربين عن الحركة .

وتختلف طريقة الدائرة المغلقة عن هذه الطريقة ، ففي هذه الحالة يستخدم بها سائل آخر سهل التطاير مثل النشادر السائل ، في دائرة مقفلة خاصة به ، ويدفع النشادر إلى مبادل حرارى ليقابل تيارا من ماء سطح البحر الدافئ ، فتحول النشادر إلى غاز أو بخار يمرر في خلال التربين ويدفعه إلى الدوران . ويخرج النشادر من التربين إلى مبادل حرارى آخر ليقابل تيارا من ماء البحر البارد الآتى من الأعماق ، فيتكثف النشادر إلى سائل مرة أخرى دون أن يفقد منه شيء ما .

ويمكن استخدام سوائل أخرى سهلة التطاير خلاف النشادر ومثال ذلك الفريون المستعمل فى التلاجات المنزلية ، ولكن يفضل استعمال النشادر فى هذا الغرض ، لأنه عند حدوث حادث ما ، فإن النشادر التى قد يتسرب من الدائرة

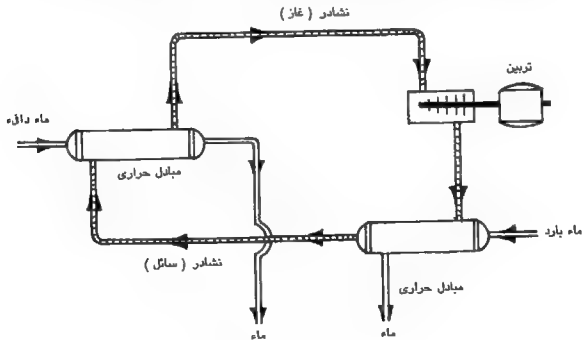
المقفلة ، يسهل دويانه في ماء البحر ، وسرعان ما يتحول بواسطة العناصر الطبيعية مثل البكتريا والاكسجين وضوء الشمس ، إلى مواد أخرى لا ضرر منها ولا تؤثر في البيئة المحيطة بهذه المحطات .

ويضاف إلى ذلك أن الضغط البخارى للنشادر يعتبر مناسباً تماماً لمثل هذه الدوائر المقفلة ، فهو يبلغ نحو ٩ كيلوجرامات على السنتيمتر المربع عند ٢٥° م .

أما عند استخدام الغريون في مثل هذه الدوائر المقفلة ، فإن ما قد يتسرب منه من الدائرة إلى ماء البحر عند وقوع حادث ما ، لن يتأثر بالعوامل الطبيعية بسهولة ، وسيبقى في البيئة المحيطة بالمحطة زمناً طويلاً ، ويسبب بذلك كثيراً من الأضرار للكائنات الحية التي تعيش فيها .

وتحتاج الدائرة المقفلة إلى استخدام مبادلات حرارية فائقة الكفاءة وذات سطح كبير ، حتى أنه يقدر أن المحطة التي تستطيع أن تنتج ميجاوات واحد ، تحتاج إلى مبادل حرارى تقرب مساحة سطحه من الهكتار ، ولكن الدائرة المقفلة تتميز عن الدائرة المفتوحة بصغر حجم التربين المستخدم فيها .

وقد أقيمت واحدة من محطات الدائرة المقفلة في الولايات المتحدة ، وهي محطة تجريبية على هيئة سفينة تطفو على سطح البحر ، وكان الهدف من هذه المحطة تحويل طاقة المحيط الحرارية إلى كهرباء تصل قدرتها إلى مائة ميجاوات ، وهي تكفى حاجة مدينة متوسطة الحجم يصل تعداد سكانها إلى مائة ألف نسمة .



شكل ٨ - ٢ طريقة الدائرة المقفلة لإنتاج الطاقة من حرارة مياه البحر

ويسحب الماء البارد في هذه المحطة من عمق ٧٦٢ مترا بواسطة انبوبة ضخمة يبلغ قطرها ١٨ مترا في وسط السفينة ، وبها ٤٠ وحدة من المبادلات الحرارية لتكثيف غاز النشادر ، على حين يضخ الماء الدافئ في ٢٠ حوضا كبيرا على جوانب هذه السفينة .

وأحد مساوئ مثل هذه المحطات أنها لا بد وأن تقام في وسط الماء العميق . حتى يمكن سحب الماء البارد من عمق كبير ، ويعنى ذلك أنها تقام على بعد كبير من الشاطئ مما يصعب معه نقل الكهرباء الناتجة منها إلى الشواطئ .

ويمكن الاستفادة من الطاقة الناتجة من مثل هذه المحطات البحرية دون أن تنتقل إلى الشاطئ ، وذلك بإنتاج بعض المواد الأولية الهامة المستخدمة في الصناعة فوق هذه المحطات ، وقد تكون تكلفتها بذلك أقل من تكاليف إنتاجها على البر .

ومن أمثلة ذلك الاستفادة من مثل هذه المحطات في تصنيع غاز النشادر ، فيمكن تزويد هذه المحطات العائمة بأجهزة خاصة لفصل غاز النيتروجين من الجو ، ويمكنها كذلك تحضير غاز الهيدروجين بتحليل مياه البحر ، ثم تقوم بمفاعلة هذين الغازين معا لتكوين النشادر .

وتستطيع محطة بهذا الحجم المذكور أن تنتج نحو ٢٨٠ طنا من النشادر في اليوم ، أى أنها تنتج مائة ألف طن من النشادر في العام ، وهى مساهمة جيدة تساعد في سد الحاجة إلى الأسمدة والمخصبات الزراعية .

كذلك يمكن نقل غاز الهيدروجين الناتج بالتحليل الكهربائي للماء ، إلى البر على هيئة سائل واستخدامه بعد ذلك في عمليات التسخين والتدفئة ، أو يستخدم في تصنيع بعض المواد الهامة الأخرى مثل الميثانول وبعض الهيدروكربونات الغنية بالهيدروجين مثل الكيروسين والجازولين .

ويمكن كذلك استخدام الطاقة الكهربائية الناتجة من مثل هذه المحطات في صناعة الألومنيوم ، وهى صناعة تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة الكهربائية ، ويقدر أن مصنعا واحدا من هذا النوع الطاقى الذى يستخدم الطاقة الحرارية للمحيطات يستطيع أن ينتج قدرا كبيرا من الألومنيوم في العام .

وبالرغم من كل هذه الأفكار الجيدة ، فما زالت عناصر التكلفة تمثل عائقا كبيرا أمام مثل هذه المشروعات ، ولن تنجح مثل هذه المشروعات الا إذا حققت عائدا اقتصاديا مناسباً .

وقد تناولت بعض البحوث امكانية استخدام المياه الدافئة لتيار الخليج الدافئ بالمحيط الاطلنطى .

ومن الممكن نظريا انتاج قدر هائل من الكهرباء من مياه هذا التيار يصل إلى نحو ١٨٠ مليون كيلوات ساعة ، إذا أقيمت محطات من هذا النوع على طول المسافة التي يقطعها التيار .

وكى ندرك ضخامة هذا القدر من الكهرباء ، فانه يمكن القول بأنه سيكونى احتياجات دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة عام ٢٠٠٠ .

ونظرا لأن المحطات التى تستخدم حرارة مياه المحيط تخلط الماء الدافئ بالماء البارد الوارد من أعماق البحر ، فقد فكر بعض العلماء أن إقامة مثل هذه المحطات على طول الطريق الذى يقطعه تيار الخليج الدافئ سيؤثر كثيرا على درجة حرارة مياه هذا التيار ، وقد يؤدى ذلك إلى اختلال حالة الجو فوق السواحل الغربية لدول أوروبا ، وهى المناطق التى يصل إليها هذا التيار الدافئ ويساعد على التقليل من برودة أجوائها .

ولا يمكن حتى الآن الحكم على صلاحية هذه المحطات ، ولابد من اجراء مزيد من البحوث والدراسات لزيادة كفاءة المبادلات الحرارية التى تنقل الحرارة من الماء الدافئ إلى الماء البارد ، ولزيادة كفاءة التربينات المولدة للكهرباء ، مع ضرورة صنع تجهيزات من مواد خاصة تستطيع مقاومة التآكل بتأثير مياه المحيط المحملة بالأملاح .

## انتاج الطاقة من أمواج البحر

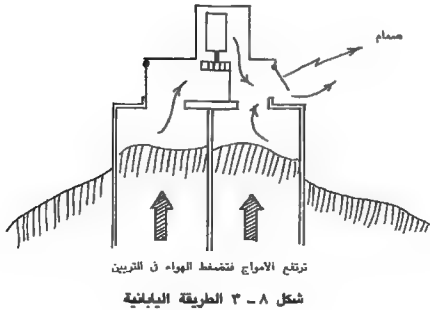
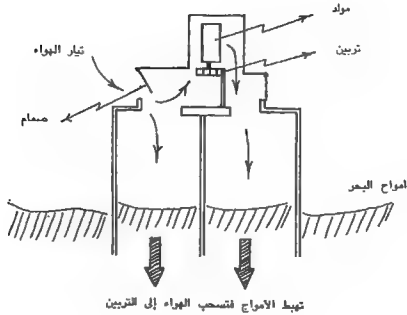
هناك أيضا بعض المحاولات التى تتعلق بانتاج الطاقة من حركة أمواج البحر فى ارتفاعها وانخفاضها . وأهم هذه المحاولات ما تقدم به بعض علماء انجلترا وبعض علماء اليابان .

ويتلخص المشروع البريطانى فى وضع سلسلة من براميل ذات أشكال خاصة فى مسار الامواج على مسافة من الشاطئ . وعندما تدفع الامواج هذه البراميل تدور حول محورها وتدير معها مولدا للكهرباء . وتتقضى هذه الطريقة وجود امواج يصل طولها إلى ١٥٠ مترا على الأقل وارتفاعها نحو ٢ أمتار حتى يمكن توليد قدر مناسب من الكهرباء .

أما المشروع اليابانى فهو عبارة عن باخرة يبلغ طولها نحو ٥٠٠ متر تقريبا ، يوجد فى باطنها مجموعة من التربينات التى تعمل بضغط الهواء .

وتوضع هذه السفينة فى الميناء فى مسار أمواج البحر ، وعند ارتفاع الامواج

فانها تدخل إلى هذه التربينات وتضغط الهواء فيها فتدور محركاتها ، وعند هبوط أمواج البحر يقل ضغط الهواء داخل التربينات ، فيتم سحب الهواء من الجو الذي يمر أيضا على التربينات ويديرها ، وبذلك يستمر دوران التربينات التي تولد في حركتها قدرا من الطاقة .



## انتاج الطاقة من حركة المد والجزر

لاحظ الناس منذ قديم الزمان أن مياه البحر ترتفع في بعض الأحيان لتغطي أجزاء من الشواطئ ، ثم تعود لتتخف بعد فترة من الزمان ، وتنسحب في اتجاه البحر تاركة وراءها مساحة كبيرة من الشاطئ عارية من الماء .

وقد أطلق الناس على هذه الظاهرة التي تتكرر يوميا في دورات خاصة ، اسم ظاهرة المد والجزر .

وقد كان أهل الصين هم أول من ذكروا شيئا في كتاباتهم عن ظاهرة المد والجزر ، ولكن تفسيرهم لهذه الظاهرة لم يكن تفسيرا واقعا ، بل شط بهم الخيال ، فكانوا يعتقدون أن حركة مياه البحر في ارتفاعها وانخفاضها تنتج من تنفس كائن حي عملاق يسكن في قاع البحر أو في باطن الأرض .

وكان سكان سكندنافيا يعتقدون اعتقادا مماثلا ، فكانوا يرون أن الإله « ثور » Thor الذي يسكن السماء هو السبب في هذه الظاهرة ، فترتفع مياه البحر لتغطي الشاطئ عندما ينفخ فيها هذا الإله ، ثم تنسحب بعيدا عن الشاطئ عندما يتوقف عن النفخ .

وأول من قدم تفسيرا علميا مقبولا لهذه الظاهرة هو عالم الفلك الألماني « جوهانس كبلر » Johannes Kepler الذي عاش في القرن السادس عشر ، فربط بين حركات الماء في ارتفاعها وانخفاضها ، وبين أوضاع كل من الشمس والقمر في السماء ، ثم جاء بعد ذلك العالم البريطاني « اسحق نيوتن » Isaac Newton والذي تكلم عن الجاذبية بين مختلف الاجسام ، فوضع بذلك الاساس الذي تقوم عليه النظرية الحديثة التي تفسر ظاهرة المد والجزر .

وقد قام بعد ذلك العالم الرياضى الفرنسى « بيير لابلان » Pierre Laplace بتعديل بعض الافكار التي نادى بها نيوتن ، وإن كان لم يخرج عن نطاق نظرية الجاذبية التي وضعها نيوتن .

ونحن نعرف اليوم أن المد والجزر ظاهرة تنشأ نتيجة للتجاذب المتبادل بين كل من الشمس والقمر وبين الأرض .

ونظرا لأن الماء جسم مائع سهل التحرك ، فانه يستجيب بشكل واضح لجاذبية الشمس والقمر أكثر مما تستجيب صخور الأرض الصلبة ، ولذلك يرتفع سطح الماء وينخفض تبعا لموضع هذه الاجرام في السماء .

وقد يظن البعض أن صخور سطح الأرض لا تتأثر بقوى جذب كل من

الشمس والقمر ، ولكن آلات الرصد الدقيقة بينت أن صخور الأرض تستجيب إلى هذه القوى كذلك ، ولكننا لا نشعر بها لشدة صلابة هذه الصخور .

وعندما يرتفع سطح البحر المواجه للشمس أو القمر ، فإن الماء يغطي الشواطئ الواقعة في هذه المناطق ، ويسمى ذلك بالمد ، وعندما ينخفض سطح البحر ، ينسحب الماء عائداً إلى البحر ، ويعرف ذلك بالجزر ،

وعلى الرغم من أن كتلة الشمس بالغة الضخامة ، وتبلغ نحو ٢٨ مليون مرة قدر كتلة القمر ، إلا أن قوة جذبها لمياه البحر تقل كثيراً عن قوة جذب القمر ، وتبلغ قوة جذبها نحو ٠,٤٦ من قوة جذب القمر لمياه البحار .

والسبب في ذلك أن الشمس تبعد كثيراً عن الأرض ، وتصل المسافة بينهما إلى نحو ١٥٠ مليون كيلومتر ، بينما يقع القمر قريباً من الأرض وعلى مسافة ٣٨٥٠٠٠ كيلومتر منها فقط .

ويدور القمر حول الأرض في مدار بيضاوي ، أي أنه يكون قريباً من الأرض في بعض الأحيان عنه في بعض الأحيان الأخرى ، ولذلك فإن قوة جذب مياه البحر تتغير تبعاً لموقعه في هذا المدار ، فعندما يكون القمر في أقرب موقع له من الأرض ، تزداد قوة جذبته بنحو ٤٠٪ على قوة جذبته عندما يكون في أبعد نقطة له من الأرض .

وهناك بعض الأماكن التي تكون فيها دورة المد والجزر منتظمة تماماً كما في تاهيتي ، فيحدث فيها المد يومياً عند الظهر وعند منتصف الليل على حين يحدث الجزر بانتظام عند الساعة السادسة صباحاً وعند السادسة مساءً ، ولكن هذه الظاهرة قد لا تكون منتظمة دائماً بهذا الشكل ، فهي تتغير من مكان لآخر ، كما تعتمد طبيعتها على شكل حوض البحر ، وطبيعة الشواطئ وحركة الأمواج وبعض العوامل الأخرى .

ويبدو تأثير المد واضحاً في الخلجان وعند بعض الجزر التي تقع في وسط المحيط ، كما أن سرعة تيار المد قد تزداد في بعض مداخل الأنهار التي تصب مباشرة في المحيط ، والتي قد يدخل فيها تيار المد إلى مسافات كبيرة داخل مجرى النهر ، قد تصل أحياناً إلى عدة كيلومترات .

ويتغير ارتفاع موجة المد من مكان لآخر ، فقد يتراوح ارتفاعها بين ثلث متر وبين خمسة عشر متراً ، وقد يندفع تيار المد على شكل حائط من الماء يتقدم بسرعة كبيرة نحو الشاطئ .

ويمكن مشاهدة موجة المد بوضوح في مدخل احد أنهار الصين وهو نهر  
« تسينتاتنج » ، "Tsientang" الذى يصب في بحر الصين .

ويبلغ ارتفاع موجة المد التى تدخل هذا النهر نحو ثمانية أمتار احيانا ،  
بينما تصل سرعتها إلى نحو عشرين كيلو مترا في الساعة ، وهى تسبب في كثير من  
الاحيان بعض الاضرار للزوارق والسفن ، وتجعل الملاحة على درجة من الصعوبة  
في هذا النهر .

وتوجد ظاهرة مماثلة في بعض الانهار الأخرى كما في مدخل نهر الامازون  
بأمريكا الجنوبية ، وفي مدخل نهر « سيفرون » "Severn" بانجلترا .

وتمثل حركة مياه البحر بين المد والجزر طاقة مخزنة هائلة يمكن  
استخدامها في توليد الكهرباء أو في انتاج الطاقة المحركة .

وقد استخدمت حركة المد والجزر في أوروبا في توليد الكهرباء خاصة في  
الاماكن التى يكون فيها المد عاليا .

ويتم ذلك عادة باختيار منطقة مناسبة ، ثم يقام فيها سد يفصل بين شاطئ  
البحر وبين المنطقة التى يمكن أن يغطيها الماء عند حدوث المد ، والتى تسمى عادة  
بحوض المد .

وعندما يبدأ تيار المد في الاتجاه من البحر إلى الشاطئ ، يترك الماء لينفذ  
خلال بوابات خاصة في جسم السد ، إلى حوض المد .

وعندما تبدأ عملية الجزر ، وتبدأ المياه في العودة إلى البحر ، توجه هذه المياه  
إلى مجموعة من التربينات المقامة في السد ، فتحركها وتولد منها تيارا قويا من  
الكهرباء .

وقد بدأت تجارب استخدام ظاهرة المد والجزر في انتاج الطاقة في الولايات  
المتحدة منذ القرن السابع عشر ، ولكن هذه التجارب كانت وفقا على استعمال  
الطاقة الناتجة من حركة الماء في ادارة بعض الطواحين التى تطحن الغلال .

وقد بدأ بعد ذلك في بناء بعض المحطات الأكثر تعقيدا ، والتى تستطيع أن  
تولد التيار الكهربائى ، واقامت احدى هذه المحطات عام ١٩٣٥ على شاطئ أحد  
الخلجان المجاورة للحدود الكندية في ولاية « مين » بالولايات المتحدة ، وكان الهدف  
منها استخدام طاقة المد في انتاج نحو ٢٥٠,٠٠٠ كيلووات من الكهرباء ، ولكن  
هذا المشروع لم يخرج إلى حيز التنفيذ بسبب نقص التمويل .

وقد تكون بعد ذلك في عام ١٩٤٨ ، مجلس مشترك بين كل من الولايات



المتحدة وكندا لاعادة تقييم هذا المشروع ، وتبين من الدراسات التي أجريت في هذا الشأن أن العائد الاقتصادي لهذا المشروع لا يتناسب مع ارتفاع تكلفته .

وقد قامت الولايات المتحدة عام ١٩٦١ بأعادة دراسة هذا المشروع على أساس توليد مليون كيلووات من الكهرباء التي يمكن ادخالها على الشبكة الكهربائية الرئيسية لاستعمالها وقت الذروة ، ولكن الحظ لم يحالف المشروع هذه المرة كذلك .

وهناك مشروع آخر تحت الدراسة في الولايات المتحدة ، يزعم اقامته على الشواطئ الغربية لنوفاسكوتشيا ، حيث يبلغ ارتفاع موجة المد نحو ٨,٧ متر عند دخولها نهر « انابوليس » ، وعند خروج المياه إلى البحر أثناء الجزر ، ستدفع تربيينات يتوقع لها أن تولد نحو ٢٠ مليون وات .

وعند نجاح هذا المشروع ، فمن المتوقع أن يقام مشروع آخر عند رأس الخليج في نفس المنطقة حيث يبلغ ارتفاع موجة المد نحو خمسة عشر مترا .

وقد نجحت فرنسا في إنشاء محطة كهرياء تعمل بالطاقة الناتجة من حركة المياه أثناء المد والجزر . وقد اقيمت هذه المحطة على مدخل نهر « رانس » "Rance" في برتاني ، وبلغت قدرة هذه المحطة ٢٤٠,٠٠٠ كيلووات ، وبلغت كفاءة هذه المحطة ٢٥٪ ، وهي كفاءة لا بأس بها .

كذلك قام الاتحاد السوفيتي ببناء محطة مشابهة على مدخل نهر « كيلسايا » "Kilsaya" ويشبه هذا المشروع المشروع الفرنسي إلى حد كبير ، ولكنه أصغر منه كثيرا ، فلا تزيد قدرة هذه المحطة على ٤٠٠ كيلووات .

وليس من المتوقع أن تساهم هذه المحطات في حل مشكلة الطاقة بشكل واضح ، فإن انتاجها مازال محدودا إلى حد كبير ، كما أنه لا يمكن اقامتها في كل مكان ، بل تصلح فقط في المناطق التي يكون فيها الفارق كبيرا بين مستوى الماء في المد وفي الجزر .



## حرارة الأرض مصدر للطاقة

يستمد سطح الأرض حرارته من أشعة الشمس الساقطة عليه طوال اليوم ، وبذلك يكون سطح الأرض أكثر حرارة من طبقات التربة التى تليه مباشرة .

ولكننا إذا تعمقنا قليلا فى قشرة الأرض نجد أن درجة الحرارة ترتفع تدريجيا بزيادة العمق ، وتصل هذه الزيادة إلى نحو درجة واحدة مئوية كل ثلاثين مترا ، وفى بعض المناطق تزيد درجة الحرارة على ذلك .

وعلى الرغم من أن مركز الأرض يحتوى على صخور منصهرة ، إلا أن ارتفاع حرارة الطبقات العميقة من قشرة الأرض يعزى أساسا إلى وجود بعض المواد المشعة فى صخور هذه الطبقات ، وتمثل مثل هذه المواد المشعة مصدرا للحرارة لا يفنى على مر الزمن .

ومن الممكن نظريا استخدام هذه الطاقة الحرارية فى أى مكان فى الأرض ، ولكن الأمر ليس من السهولة بمكان ، فالأمر يحتاج إلى ابتكار وسائل للوصول إلى هذه الحرارة فى باطن الأرض ، ثم نقل هذه الحرارة إلى سطح الأرض للاستفادة منها .

وهناك بعض الأماكن التى تكون فيها هذه المصادر الحرارية قريبة من سطح الأرض ، وتقوم المياه الجوفية بنقل هذه الحرارة إلى سطح الأرض على هيئة نافورات أو ينابيع ساخنة يتصاعد منها الماء الساخن أو البخار ويمكن بذلك الاستفادة من هذه الحرارة بجهد يسير .

ومن أمثلة هذه الينابيع الحارة تلك النافورة الضخمة الموجودة فى «يلوستون» "Yellowstone" بالولايات المتحدة ، والتى يرتفع منها عمود من الماء الساخن والبخار ارتفاعه نحو ثلاثين مترا ، ويرتفع الرذاذ المتناثر منه إلى نحو ٧٥ مترا من سطح الأرض .

كذلك توجد بعض هذه الينابيع الحارة فى أيسلندة ، ويرتفع منها الماء والبخار إلى نحو ٤٥ مترا .

والماء الخارج من هذه الينابيع عادة ما يكون صافيا ، ولكنه يحتوى في أغلب الأحوال على بعض السليكات الذائبة فيه ، ولذلك نجد حول أغلب هذه الينابيع قشور لامعة من مركبات السليكا متغيرة الألوان .

وفي بعض الأحيان يخرج الماء والبخار من هذه الينابيع مختلطا بكثير من الشوائب ، فبعض هذه الينابيع في نيوزيلندا يخرج منها الماء الموحل في لون الحبر الأسود ، ويندفع في الهواء إلى ارتفاع قد يصل إلى ١٥٠ مترا فوق سطح الأرض .

## الطاقة من الينابيع الحارة

كانت هناك بعض المحاولات الجادة لاستخدام البخار المتصاعد من الينابيع الحارة في أغراض التسخين والتدفئة ، وكذلك في توليد الكهرباء .

وقد بدأ استخدام البخار المتصاعد من باطن الأرض في توليد الكهرباء عام ١٩٠٤ في إيطاليا ، ثم استعمل بعد ذلك في نيوزيلندا واليابان والولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي .

وقد أقيمت وحدات توليد الكهرباء التي تستخدم البخار الطبيعي في الولايات المتحدة بجوار حقل طبيعي للبخار في ولاية كاليفورنيا يدعى « الينابيع الساخنة » ، "Hot Springs" ، ويتم في هذه الوحدات جمع البخار من عدة آبار ، ثم ترشيحه مما قد يوجد فيه من فئات الصخور ، ويمرر بعد ذلك على التربينات التي تولد الكهرباء .

ونظرا لانخفاض درجة حرارة هذا البخار المتصاعد من الينابيع الساخنة ، وقلة ضغطه ، فإن الجزء الذي يتوفر من الحرارة ويتحول إلى طاقة كهربائية يقل إلى حد ما عن ذلك القدر من الحرارة التي توفرها عادة أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم والبتروئ ، والتي تستخدم عادة في إنتاج البخار فوق المسخن .

ومع ذلك فإن هذه المحطات التي تدار بالبخار الطبيعي ، يكون تشغيلها أقل تكلفة من تشغيل المحطات الأخرى التي تدار بالبخار المحضر بحرق الوقود التقليدي ، هذا بالإضافة إلى أن الزمن اللازم لاقامة مثل هذه المحطات زمن قليل نسبيا .

وتبلغ قدرة هذه المحطات التي تولد الكهرباء بالبخار الطبيعي في كاليفورنيا بنحو ٤٠٠ ميجاوات ، وأن كانت قدرة هذا الحقل تقدر نظريا بنحو ١٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ ميجاوات عند استغلاله بشكل كامل .

وقد كانت وحدات توليد الكهرباء التي تدار بالبخار الطبيعي في منطقة «لاردريلو» "Larderello" بإيطاليا ، هي أول وحدات من هذا النوع في العالم ، وتبلغ قدرتها نحو ٣٠٠ ميجاوات ، كما أن هناك وحدات مماثلة في نيوزيلندا تبلغ قدرتها ٢٠٠ ميجاوات .

وعلى الرغم من انخفاض تكاليف توليد الكهرباء بالبخار الطبيعي فإنه ليس من المتوقع أن ينتشر استخدام هذه الطريقة في توليد الكهرباء وذلك لأنه يصعب اكتشاف ينابيع حارة جديدة في الأماكن التي تحتاج إلى إنتاج الكهرباء .

ومن الملاحظ أن الينابيع الساخنة سابقة الذكر في كل من كاليفورنيا ولاردريلو ، يتصاعد منها البخار الجاف فقط ، أي أنه بخار لا يصاحبه الماء الساخن ، وهذه حالة نادرة ، فأغلب الينابيع الحارة المعروفة يتصاعد منها الاثنان معا ، ويختلط فيها البخار بالماء الساخن .

وقد كانت أفضل النظريات التي قدمت لتفسير نشأة الينابيع الحارة ، تلك النظرية التي وضعها الكيميائي الألماني « روبرت ولهم بنزن » "Robert Wilhelm Bunsen" في القرن التاسع عشر ، وما زالت هذه النظرية مقبولة حتى الآن .

وترتكز هذه النظرية على أن درجة غليان الماء تعتمد على الضغط الواقع على هذا الماء فتزيد درجة غليانه بزيادة الضغط ، وتقل بقلته . ومثال ذلك أن درجة غليان الماء عند سطح البحر تحت الضغط الجوي المعتاد تكون  $100^{\circ}\text{C}$  ، ولكن درجة غليانه تزيد إلى  $120^{\circ}\text{C}$  م على عمق ١٠ أمتار من سطح الأرض ، لأن الضغط الواقع على الماء عند هذا العمق يبلغ ضعف الضغط الجوي .

وعندما تلامس المياه الجوفية الصخور الساخنة على عمق كبير من سطح الأرض ترتفع درجة حرارتها إلى حد كبير ، ولكنها لا تغلي بسبب الضغط الكبير الواقع عليها في باطن الأرض .

وعندما تقابل هذه المياه الساخنة شرخا رأسيا في قشرة الأرض ، تندفع خلال هذا الشرخ بسرعة كبيرة ، وكلما صعدت المياه نحو سطح الأرض ، قل الضغط الواقع عليها ، وعندما تخرج المياه الساخنة إلى الهواء تتحول إلى بخار يندفع في الجو على هيئة نافورة حارة .

وعندما تكون درجة حرارة الماء في باطن الأرض ليست مرتفعة بدرجة كافية ، فإن جزءا من هذا الماء يتحول إلى بخار عند صعوده إلى سطح الأرض ، ويتبقى منه جزء آخر على هيئة ماء ساخن يندفع إلى الجو مصاحبا للبخار .

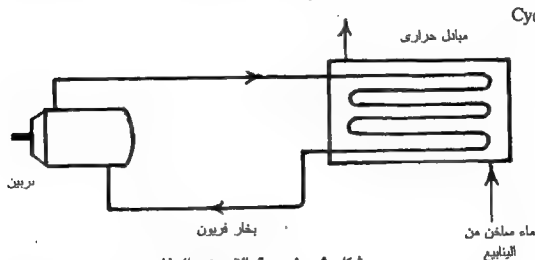
وعند اقتران الماء الساخن بالبخر ، فإن القيمة الحرارية لهذا البخر تقل كثيرا ، وذلك لأن جزءا كبيرا من الحرارة يتسرب مع الماء الساخن ، وتقل بذلك كفاءة التشغيل عن الحالة التي يستخدم فيها البخر الجاف .

والخلاص من الماء الساخن الناتج من استخدام الينابيع الحارة ، يمثل مشكلة كبيرة ، ويتم التخلص منه عادة بالقائه في أحد المجارى المائية التي قد تجاور مكان العمل أو يتم حقنه عند الضرورة في باطن الأرض مرة أخرى . وهناك كثير من الينابيع التي يتصاعد منها الماء الساخن دون أن يصحبه البخر ، ولم تستخدم هذه الينابيع كمصادر حرارية إلا في أضيق الحدود لانخفاض درجة حرارتها عن درجة الغليان .

وهناك أفكار متعددة تتعلق بالاستفادة من الطاقة الحرارية لمثل هذه الينابيع التي يخرج منها الماء الساخن فقط ، ويتلخص أحد هذه الأفكار في امرار الماء الساخن الناتج من الينبوع ، في مبادل حرارى لتسخين سائل آخر أكثر تطايرا مثل الفريون وتحويله إلى بخار .

وعند اجراء هذه العملية في حيز مقفل ، فإن بخار الفريون يمكن استخدامه في ادارة تربين لتوليد الكهرباء ، وعندما يبرد هذا البخر ويتحول إلى سائل بعد خروجه من التربين ، يعاد إلى المبادل الحرارى مرة أخرى لاعادة تسخينه ، ثم تكرر هذه الدورة .

وقد سميت هذه الطريقة « بدورة التربين والبخر ، Vapour-Turbine Cycle » .



شكل ٩ - ١ دورة التربين والبخر

وتسمح هذه الطريقة بتوليد الكهرباء من مياه متوسطة الحرارة ، أى من مياه تقل درجة حرارتها كثيرا عن درجة الحرارة اللازمة لتشغيل تربينات البخر .

وقد أقيمت إحدى هذه الوحدات لتوليد الكهرباء في الاتحاد السوفيتى ، كما أن هناك بعض الوحدات التجريبية التي يجرى انشاؤها على الساحل الغربى للولايات المتحدة .

وهناك طريقة أخرى مقترحة للاستفادة من مياه الينابيع الحارة التي تحتوى على تركيزات عالية من الأملاح المعدنية ، ويطلق على هذه الطريقة اسم « الانسياب الكلي » ، "Total Flow" ، وتتلخص فى تحويل الطاقة الحرارية لخليط البخار المضغوط والماء الساخن ، إلى طاقة حركية مباشرة ، فيدفع هذا الخليط إلى التربين لإدارته مباشرة .

ويمكن لمثل هذا النظام ، من الناحية النظرية ، أن يستخلص نحو ٦٠٪ من الطاقة الحرارية للينبوع الساخن .

وتستخدم المياه الساخنة المتصاعدة من الينابيع الحارة فى عمليات التدفئة والتسخين فى آيسلندا منذ عدة سنوات ، ويتم اليوم تدفئة نحو ٩٠٪ من المنازل فى ريكيافيك عاصمة آيسلندا بواسطة شبكة من الأنابيب تنقل هذه المياه الساخنة وتوزعها .

كذلك تستخدم هذه المياه الساخنة فى التدفئة فى كل من اليابان ونيوزيلندا والاتحاد السوفيتى والمجر والولايات المتحدة .

وقد استخدمت المياه الساخنة فى بعض الأغراض الصناعية فى نيوزيلندا ، كما استخدمت فى تسخين التربة وفى مزارع الأسماك واستخدمت فى الاتحاد السوفيتى فى تكييف الهواء .

## الطاقة من صخور الأرض الساخنة

تجرى حالياً كثير من الدراسات المتعلقة بالاستفادة من حرارة الصخور الساخنة فى باطن الأرض ، لتوفير الطاقة لما حولها من مناطق .

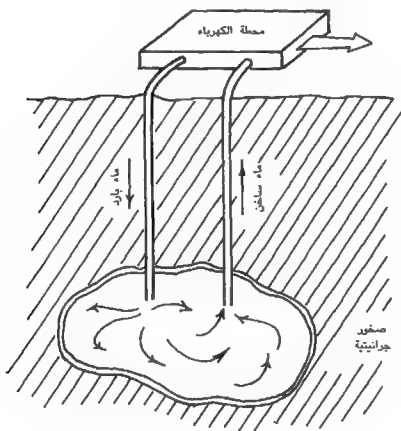
وقد كان العلماء الأمريكان فى معامل لوس الاموس أول من قاموا بإجراء تجربة عملية فى هذا المجال فى بداية السبعينيات ، فتم حفر بئر رأسية بجوار أحد البراكين القديمة حتى وصل عمقها إلى ٣٠٠٠ متر تحت الأرض ، ودفع فيه تيار من الماء ليخرج من بئر أخرى على مسافة قريبة من البئر الأولى ، واستخدم الماء الخارج من هذه البئر ، وكانت درجة حرارته ١٨٠° م ، بعد أن تحول إلى بخار عند سطح الأرض ، فى إدارة تربين لتوليد الكهرباء .

وبعد نجاح هذا المشروع بدأ العلماء فى التخطيط لمشروع آخر معادل فى عام ١٩٧٩ .

وقد بدأت تجارب معاملة فى كثير من البلدان مثل ألمانيا الغربية واليابان

والاتحاد السوفيتي الذي اقام أحد هذه المشروعات في أوكرانيا ، ووصل عمق هذه الآبار نحو ٢٠٠٠ متر كما في إنجلترا وإلى نحو ٥٠٠٠ متر في فرنسا بجوار مدينة « فيشي » ، وكانت درجة حرارة الصخور الجرانيتية عند هذا العمق نحو ٢٠٠° م ، وقدرت الطاقة التي يمكن استنباطها من حرارة الأرض في هذه المناطق بنحو ٢٤ × ١٧١٠ سعرا ، وهو قدر هائل من الطاقة يساوي الطاقة الناتجة من محطة نووية كبيرة تصل قدرتها إلى ١٢٠٠ ميجاوات لمدة ٣٥٠ عاما .

والمبدأ الذي تقوم عليه هذه التجارب هو حفر بئر راسية تصل إلى الصخور الصلبة الساخنة في باطن الأرض ، ثم دفع سائل يستطيع نقل الحرارة ، مثل الماء خلال هذه البئر ، ليدور بين شقوق هذه الصخور وينتقل إليه بعض حرارتها ويحملها معه إلى سطح الأرض من بئر أخرى .



شكل ٩ - ٢ استخدام حرارة الأرض في إنتاج الطاقة

وهناك كثير من الصعوبات التي تعترض تنفيذ هذه الطريقة ، فقد تتسرب المياه التي ندفعها في البئر إلى بعض الطبقات المسامية من قشرة الأرض وبذلك لا يمكن إعادتها إلى سطح الأرض .



ويحتم ذلك ضرورة استكشاف المناطق التي تصلح لاستخدام طاقة الأرض الحرارية ، مع دراسة نوعية الصخور الموجودة بباطن الأرض في هذه المناطق .

وقد انحصر البحث عن هذه المصادر الحرارية الأرضية فيما مضى في الأماكن المحيطة بالينابيع الحارة الطبيعية ، واستخدمت في ذلك بعض الطرق المستعملة في البحث عن البترول ، مثل قياس الجاذبية الأرضية وتعيين التوصيل الكهربائي للكتل الصخرية ، واستخدام أجهزة القياس السيزمية وغير ذلك من الطرق .

ويهتم العلماء اليوم بخفض تكلفة عمليات الحفر العميق وذلك لأن أغلب الصخور الصلدة الساخنة التي تصلح مصدرا للحرارة العالية توجد على عمق كبير .

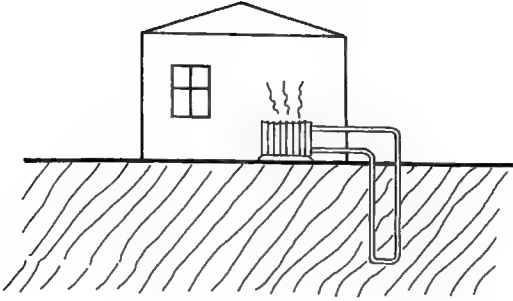
وترتفع تكلفة الحفر إلى حدود كبيرة عندما يزيد عمق الحفر على ٦٠٠٠ متر ، كما أن أجهزة القياس المستخدمة تفقد كثيرا من حساسيتها وقد تفقد صلاحيتها تماما عند درجات الحرارة المرتفعة التي تصل إلى ٢٠٠° م ، ولهذا فإن البحوث الحديثة في هذا المجال تتجه أساسا إلى تحسين طرق الحفر وطرق القياس معا .

ويمكن استخدام حرارة باطن الأرض في أعمال التدفئة عن طريق نظام مغلق للماء . ويستخدم حاليا في الأسواق نظام تدفئة عالي الكفاءة يمكن استخدامه في المنازل وفي المحال العامة ، وهو يتكون من مضخة عادية تعمل بالتيار الكهربائي تضخ الماء في أنابيب متوسطة القطر من البلاستيك مدفونة تحت سطح الأرض على عمق متوسط .

وعادة ما تكون درجة حرارة جوف الأرض في الشتاء أعلى من درجة حرارة الجو بمقدار مناسب ، ولذلك فإن الماء الذي يدفع في هذه الأنابيب ترتفع درجة حرارته إلى حد ما ، وعند مروره في المبادلات الحرارية الموجودة بغرف المنزل يشبع بعضها من الدفء في حجرات الدار .

ويمكن استخدام مادة سهلة التطاير مثل غاز البروبان في هذه الأجهزة ، فترتفع درجة حرارتها عند ضغطها في أجهزة التبادل الحراري فتؤدي إلى تدفئة الحجرة في الشتاء ، كما يمكن تركها لتتبخر وتتحول إلى غاز في أجهزة التبادل الحراري صيفا فتمتص الحرارة مما حولها وتؤدي إلى تكييف الهواء .

وتستخدم مثل هذه الانظمة بكثرة في كل من الولايات المتحدة وكندا والسويد ، ويبلغ عدد المستخدمين منها حاليا نحو ٢٠,٠٠٠ ، وقد اشترك الباحثون



شكل ٩ - ٣ استخدام حرارة الأرض في تكييف الهواء

في كل من الولايات المتحدة والسويد في تطوير هذه الأنظمة وزيادة كفاءتها خلال السنوات العشر الأخيرة ، وهي تساعد على توفير نحو ٦٠٪ من تكاليف التدفئة المعتادة .

واستخلاص الطاقة من باطن الأرض له كثير من المميزات الواضحة ، فلا يحتاج الأمر هنا إلى عمليات ثانوية أخرى ، مثل عمليات التعدين والاستخراج من باطن الأرض ، كما أنها لا تحتاج لاعداد معين قبل تسويقها ولا تحتاج إلى ابتكار وسائل لنقلها أو تخزينها ، وهي أمور نصادفها دائما عند استخدامنا لمصادر الطاقة المستعملة اليوم ، مثل الفحم والبتروول والغاز الطبيعي .

وعلى الرغم من أن الطاقة الحرارية لباطن الأرض لم تستغل حتى الآن بشكل جدى وعلى نطاق واسع ، فإن هناك آمالا عريضة في أن يتم استغلال هذه الطاقة بشكل عملي في السنوات القليلة القادمة ، خاصة وانها تتوفر في كل مكان ، كما أنها طاقة نظيفة لا ينتج عن استعمالها أى تلوث لما حولها من بيئة .

ويعتقد بعض العلماء المهتمين بهذه الأمور ، إن الطاقة المستمدة من حرارة الأرض قد توفر نحو ١٠ - ١٥٪ من الطاقة اللازمة في بعض الدول الصناعية عام ٢٠٠٠ .

## استخدام طاقة الرياح

تتغير درجة حرارة الهواء عند ملامسته لسطح الأرض ، فهو يبرد ليلا ويسخن نهارا ، وتنشأ نتيجة لذلك حركة الرياح .

وتختلف سرعة الرياح كثيرا من مكان لآخر ، ففي بعض الاحيان تكون الرياح على هيئة نسيم لطيف ، وفي بعضها الآخر تزداد سرعتها زيادة كبيرة قد تصل إلى حد العاصفة والأعصار .

وقد وضع ادميرال بريطاني عاش في القرن التاسع عشر ويدعى « سير فرانسيس بوفورت » "Sir Francis Beaufort" مقياسا تقريبا لسرعة الرياح ، أقامه على أساس قوة دفع الرياح لأشعة السفن الشراعية المستعملة في ذلك الحين .

وقد عرف هذا المقياس باسم « مقياس بوفورت لسرعة الرياح » وما زال مستعملا حتى اليوم .

وقد قسم بوفورت سرعة الرياح إلى ثلاثة عشر مرتبة ، وأعطى كل مرتبة منها رقما من صفر إلى اثني عشر طبقا للجدول التالي ، كما وصف المظاهر الدالة على كل مرتبة وصفا دقيقا :

ومن الطبيعي أن سرعات الرياح التي تزيد على رقم ٨ في هذا المقياس لا تصلح للاستخدام في انتاج الطاقة لما تحدثه من دمار وتخريب ، ولذلك يجب اختيار الأماكن التي تقام فيها التجهيزات التي تستخدم طاقة الرياح بحيث تكون سرعة الرياح فيها مناسبة وكذلك لها صفة الدوام طوال العام .

وقد استخدمت طاقة الرياح منذ زمن طويل ، ففي هولندا استخدمت الرياح في تحريك طواحين الهواء التي أقيمت على ساحل البحر ، استعملت فيها مراوح ضخمة تحركها الرياح لتحرك بدورها الطاحون الموجود بقاع البرج .

| مظاهرها                              | وصف الرياح      | سرعة الرياح<br>كم/ساعة | رقم<br>المقياس |
|--------------------------------------|-----------------|------------------------|----------------|
| الدخان يتصاعد رأسيًا                 | هادئة           | صفر - ١,٥              | صفر            |
| تحرك الدخان                          | نسيم            | ١,٦ - ٥                | ١              |
| تحرك أوراق الشجر                     | هواء خفيف       | ٦ - ١١                 | ٢              |
| تحرك أوراق الشجر وبعض الأغصان        | نسيم لطيف       | ١٢ - ١٩                | ٣              |
| تحرك الأغصان وتطاير الأوراق          | نسيم متوسط      | ٢٠ - ٢٩                | ٤              |
| تحرك سطح الماء وترنح الأشجار الصغيرة | نسيم منعش       | ٣٠ - ٣٩                | ٥              |
| تحرك الأغصان الكبيرة                 | نسيم قوى        | ٤٠ - ٥٠                | ٦              |
| انثناء الأشجار وصعوبة المشي          | رياح قوية       | ٥١ - ٦١                | ٧              |
| انكسار أطراف فروع الشجر              | رياح عاصفة      | ٦٢ - ٧٤                | ٨              |
| انكسار مداخن المنازل                 | رياح عاصفة قوية | ٧٥ - ٨٧                | ٩              |
| شديدة انخلاع الشجر                   | رياح عاصفة      | ٨٨ - ١٠١               | ١٠             |
| حدوث الدمار                          | عاصفة كاملة     | ١٠٢ - ١٢٠              | ١١             |
| دمار شديد                            | أعصار           | أكثر من ١٢٠            | ١٢             |

كذلك أقيمت بالولايات المتحدة أبراج عالية تحمل مراوح ضخمة في مواقع خاصة على سواحلها واستخدمت هذه المراوح في إنتاج الكهرباء ، وبلغ قطر بعض هذه المراوح نحو ٦٠ مترا .

وتخطط الولايات المتحدة حاليا لإنشاء محطات للطاقة تستخدم فيها حركة الرياح لإنتاج قدر كبير من الطاقة الكهربائية التى ستحتاجها عام ٢٠٠٠ ، وذلك حتى يمكن أن توفر قدرا معقولا من أنواع الوقود التقليدية المستعملة في توليد الكهرباء .

وقد تبين من البحوث والدراسات التى أجريت في هذا المجال ، أن المروحة التى يصل قطرها إلى نحو ثمانية أمتار ، تستطيع في مواجهة ربيع متوسطة أن تنتج حوالى ٢ - ٣ كيلووات من الكهرباء ، وهو قدر يكفى احتياجات المنزل المعتاد .

وتتميز محطات الطاقة التى تعمل بطاقة الرياح في أنه لا يصدر عنها ضوضاء ولا مواد ملوثة للبيئة ، ولذلك يمكن إقامتها بجوار المناطق السكنية دون حدوث ضرر ما .

وتتوافر طاقة الرياح اللازمة في جمهورية مصر العربية في كثير من المناطق مثل الساحل الشمالى وساحل البحر الأحمر ، وشبه جزيرة سيناء وفى منطقة شرق العوينات .

وقد تبين من بعض الدراسات التي أجريت في هذا المجال أن سرعة الرياح في منطقة العوينات تبلغ في المتوسط نحو ثمانية أمتار في الثانية ، أى نحو ٣٠ كيلو مترا في الساعة ، وهى سرعة مناسبة تكفى لتوليد قدر من الكهرباء من مراوح كهربائية قطر كل منها نحو عشرين مترا يمكن عن طريقها استخراج المياه من الآبار الارتوازية لرى نحو ٢٥٠ ألف فدان من الأراضى القابلة للزراعة بهذه المناطق .

كذلك تبين من بعض هذه الدراسات التى قام بها فريق بحثى بتكليف من وزارة الكهرباء والطاقة ، أن منطقة خليج السويس بها سرعات هواء عالية على مدار العام تصلح لإقامة مجموعة من التربينات الهوائية تصل قدرتها إلى نحو ١٠٠٠ ميجاوات ، وهى تعادل قدرة محطة نووية كبيرة .

وهناك مشروعات لتوليد الكهرباء واستخراج المياه من باطن الأرض في رأس غارب والغردقة ولصناعة الثلج المجروش بأبو الغصون لخدمة الصيادين في البحر الأحمر .

ومن المنتظر أن يعم استعمال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء واستخراج المياه من باطن الأرض في كثير من البلدان ، فهذه المحطات قليلة التكاليف ويمكن صنع كثير من أجزائها محليا ، وكل ما تتطلبه وجود رياح متوسطة القوة ومنظمة السرعة على مدار العام .



## استخدام غاز الهيدروجين في انتاج الطاقة

يعتبر غاز الهيدروجين على رأس قائمة أنواع الوقود التي يمكن استخدامها بعد أن تستنفد أنواع الوقود التقليدية المستعملة اليوم ، مثل الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعي .

وغاز الهيدروجين من أكثر الغازات وفرة في هذا الكون ، وهو يمثل المادة الخام التي تكونت منها كل العناصر الأخرى في الفرن النووي الموجود بقلب كل النجوم .

وعلى الرغم من وفرة غاز الهيدروجين في قلب النجوم وفي الفراغ الواقع بين المجرات ، فإن الغلاف الجوي للأرض لا يوجد به غاز الهيدروجين الحر الطليق ، ولكنه يوجد بنسبة قليلة متحدا مع غيره من العناصر على هيئة مركبات في قشرة الأرض ، ويوجد بنسبة عالية متحدا مع الأكسجين في الماء الذي يملأ البحار والمحيطات .

ويستخدم غاز الهيدروجين حاليا في الصناعة في كثير من الأغراض ، فهو يستعمل في عمليات الاختزال وفي صنع بعض أنواع اللدائن وبعض أنواع المخصبات الزراعية وما إليها ، ولذلك فهو يحضر بكميات كبيرة تصل إلى نحو ١٠ تريليونات قدم مكعب في العام .

ويمكن تحضير غاز الهيدروجين بطرق متعددة ، فيمكن تحويل بعض أنواع الوقود أو بعض مقطرات البترول إلى غاز غني بالهيدروجين ، كما يمكن تحضيره بالتحليل الكهربائي للماء ، وهذه الطريقة الأخيرة تعطينا غازا نقيا بدرجة كبيرة ، ولهذا تعتبر المياه المتوافرة في البحار والمحيطات المصدر الرئيسي لغاز الهيدروجين .

وقد تنبأ الكاتب الفرنسي « جول فرن » عام ١٨٧٤ بهذه الحقيقة فقال في كتابه « جزيرة الألغاز » « اعتقد أن الماء سيستعمل يوما ما كوقود ، وأن

الهيدروجين والاكسجين اللذين يتركب منهما سيوفران منفردين أو مجتمعين ، مصدرا لا ينضب من الحرارة والضوء .  
ويرتبط الهيدروجين بالاكسجين في جزئ الماء ارتباطا وثيقا ، ويحتاج الامر إلى توافر قدر من الطاقة حتى يمكن فك هذا الارتباط والحصول على كل منهما على حده . ويمكن فك هذا الارتباط بامرار تيار كهربائى فى الماء ، فيتحلل الماء إلى عنصريه من الهيدروجين والاكسجين ، ولكن العائق الرئيسى أمام هذه العملية ، أن كمية الكهرباء اللازمة لاتمام التحليل تتكلف كثيرا .

وتقوم النباتات بتحليل الماء إلى عنصريه ببساطة مذهلة ، فهى تستخدم أشعة الشمس ومادة الكلوروفيل الموجودة بالكلوروبلاست فى فصل الهيدروجين عن الاكسجين فى جزيئات الماء ، ولكن النباتات تستخدم الهيدروجين الناتج بعد ذلك فى الاتحاد مع غاز ثانى اكسيد الكربون لتكوين الكربوهيدرات ، وينطلق الاكسجين فى الهواء .

وقد حاول بعض العلماء أن يقلدوا النباتات فى عملها وقاموا بابتكار كلوروبلاست صناعية ، وهى مواد تقوم بنفس عمل كلوروبلاست النبات ، ونجحت بعض هذه التجارب على النطاق المعمل .

وقد نجح عالم كيميائى يدعى « ملفن كالفن » من جامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة ، والذي حصل على جائزة نوبل عام ١٩٦٠ ، فى انتاج كلوروبلاست صناعية على شكل كريات دقيقة من الزيت تطفو فوق سطح الماء ، واستطاعت هذه الكريات أن تساعد على اطلاق الهيدروجين من جزيئات الماء .  
وقد استخدم « كالفن » فى بحوثه كثيرا من المركبات ، فاستخدم أصباغا من مركبات كيميائية تسمى « اليورفورين » كما استعمل بعض الفلزات كعوامل مساعدة مثل « البلاتين والروثينيوم » وبعض مركبات الفوسفوليبيدات ، ولكن انتاج الهيدروجين من الماء بهذه الطريقة لم يتعد نسبة ٤٪ فى أفضل الحالات .

وقد قام علماء آخريين بأخذ الكلوروبلاست من نبات السبانخ وأضافوا اليها مواد حافزة تمنع اتحاد الهيدروجين بعد تكوينه مع ثانى اكسيد الكربون وتسرع بذلك بانطلاقه حرا فى الهواء . وقد اعتقد هؤلاء العلماء أن هذا النوع الجديد من الكلوروبلاست الذى ينتج الهيدروجين يمكن الحصول عليه بزرع مساحات شاسعة من السبانخ ، وأنه يمكن أن يوفر الطاقة فى يوم من الأيام لحضارة بأكملها ! .

وحتى الآن تعتبر طريقة التحليل الكهربائى للماء أفضل الطرق لانتاج الهيدروجين ، ويمكن الحصول على التيار الكهربائى اللازم من الطاقة الشمسية .

وقد جرت بعض المحاولات الجادة لاستخدام غاز الهيدروجين كوقود فى



محركات الاحتراق الداخلي في محركات السيارات وكذلك في توليد الكهرباء بواسطة خلايا الوقود .

ولا يسبب غاز الهيدروجين أى تلوث للبيئة ، فهو عندما يحترق يعطى بخار الماء وهو مكون طبيعى من مكونات الهواء . وما زالت هناك بعض الصعوبات التى تعترض استخدام هذا الغاز فى مثل هذه الأغراض . وأهم هذه الصعوبات أن غاز الهيدروجين سريع الانتشار ، وذلك بسبب صغر حجم جزيئاته التى تستطيع أن تمر فى مسام جدران الأوعية الحافظة له ، ولذلك لابد من صنع نوع خاص من الأوعية يمكن حفظه فيها .

## استخدام الهيدروجين المسال

يتحول غاز الهيدروجين إلى سائل بالضغط والتبريد . وقد فكر بعض العلماء المهتمين بالطاقة ، فى استخدام الهيدروجين المسال فى إنتاج الطاقة بدلا من استخدام الغاز .

ولا يسيل غاز الهيدروجين الا عندما تصل درجة حرارته إلى  $-252^{\circ}\text{C}$  . وقد وجد أنه يتعذر العمل بهذا السائل شديد البرودة بطريقة عملية ، كما أنه يصعب حفظه واستخدامه بشكل عملي فى الصناعة أو كوقود للسيارات وهو بهذه الحالة .

كذلك فإن الهيدروجين السائل بالغ الخفة ، فبينما يكون حجم الكيلوجرام الواحد من الماء مساويا للتر ، فإن الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين المسال يشغل أربعة عشر لترا ، ولهذا فإن الغاز المسال يحتاج إلى خزان كبير الحجم لتخزين قدر صغير منه ، كما يجب أن يكون هذا الخزان سميك الجدار ثقيل الوزن حتى يستطيع أن يتحمل الضغط المرتفع للغاز المسال .

وعند استخدام غاز الهيدروجين المسال لإدارة محرك السيارة بدلا من الجازولين ، فانتنا نجد أن وزن الغاز المسال بالإضافة إلى وزن الخزان الثقيل الحاوى له ، يزيد بمقدار ثلاثين مرة على وزن الجازولين الذى يعطى نفس القدر من الطاقة .

ويلاحظ أن الخزان الثقيل الحاوى للهيدروجين المسال يمثل وحده نحو ٩٩٪ من هذا الوزن ، كما أنه يشغل حجما كبيرا يزيد بمقدار ٢٤ مرة على حجم الخزان اللازم لاحتواء قدر مكافئ من الجازولين .

ويتضح من ذلك أن هناك كثيرا من المشاكل التى تصاحب استخدام

الهيدروجين المسال في ادارة محركات السيارات ، وقد تقوم بعض هذه المشاكل  
بالغاء صلاحيته كلية للاستعمال في هذا المجال .

وهناك نقطة أخرى يجب أن تؤخذ في الاعتبار ، وهي النسبة بين مقدار  
الطاقة اللازمة لاسالة الغاز ، ومقدار الطاقة الناتجة من هذا الغاز المسال عند  
حرقه على هيئة وقود .

وعند تطبيق هذه القاعدة على غاز الهيدروجين ، نجد أنه يحتاج إلى ضغط  
مرتفع يصل إلى نحو ١٣٦ جوا لتحويله إلى سائل ، وللوصول إلى هذا الضغط  
العالى فأننا يجب أن تستخدم قدرا كبيرا من الطاقة يصل إلى نحو ٨٠٪ من الطاقة  
الناتجة عن حرق الهيدروجين المسال .

ويتضح من ذلك أن حصيلتنا النهائية من الطاقة الناتجة من حرق  
الهيدروجين المسال لن تزيد على ٢٠٪ فقط ، وبذلك فإن الغاز المسال لن يكون حلا  
مثاليا لتوفير الطاقة .

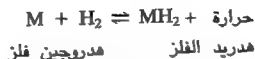
ويبدو مما تقدم أنه يجب أن نستخدم غاز الهيدروجين كما هو دون أسالته ،  
حتى نحصل على قدر وافر من الطاقة .

وتنشأ عن ذلك مشكلة أخرى رئيسية ، وهي الكيفية التي يمكن بها تخزين  
كميات كافية من هذا الغاز بطريقة اقتصادية وبطريقة آمنة .

## استخدام هيدريدات الفلزات

تعتبر هيدريدات الفلزات من أفضل الحلول التي قدمت لحل مشكلة تخزين غاز  
الهيدروجين .

وهيدريدات الفلزات عبارة عن مركبات تتكون باتحاد بعض الفلزات مع غاز  
الهيدروجين ، وتتحد أغلب الفلزات مع الهيدروجين لتكوين مثل هذه الهيدريدات ،  
وقد يحدث التفاعل في بعض الحالات بطريقة مباشرة ، أى بمجرد ملاسة الغاز  
لسطح الفلز .



ويلاحظ من معادلة التفاعل السابقة أن الاسهم الدالة على سير التفاعل

تشير إلى كلا الاتجاهين ، ويعنى ذلك أن التفاعل انعكاسى ، أى أنه يمكن أن يسير فى كلا الاتجاهين باختلاف الظروف من حالة إلى أخرى .

والظروف المؤثرة على هذا التفاعل هى الضغط ودرجة الحرارة ، فعند زيادة الضغط الواقع على التفاعل ، يزداد ضغط غاز الهيدروجين فيسرى التفاعل إلى يمين المعادلة أى إلى تكوين مزيد من الهيدريد ، وإذا قل ضغط غاز الهيدروجين ، فان التفاعل يسير فى اتجاه اليسار ويتفكك هيدريد الفلز إلى فلز وغاز الهيدروجين .

كذلك فان اتحاد الفلز مع غاز الهيدروجين ينتج عنه قدر من الحرارة يعرف باسم « حرارة تكوين الهيدريد » ، ولكى يتفكك هذا الهيدريد يجب أن نعطيه نفس هذا القدر من الحرارة مرة أخرى ، حتى يتحول إلى فلز وهيدروجين .

وهذه الخواص الانعكاسية هى أهم خواص الهيدريدات ، وهى التى تجعلها صالحة لتخزين غاز الهيدروجين عند بدء التفاعل تحت الضغط ، وصالحة أيضا لانتاج الهيدروجين بسهولة تفككها بالحرارة .

وعادة ما يستعمل مسحوق الفلز عند تكوين الهيدريد ، وذلك لزيادة مساحة سطح الفلز الملامس لغاز الهيدروجين .

وتستطيع أغلب الفلزات أن تمتص قدرا كبيرا من غاز الهيدروجين ، بل يستطيع بعض منها أن يخترن كمية من الهيدروجين تزيد على ما يوجد منه فى نفس الحجم من الهيدروجين السائل .

ويتناسب ثبات الهيدريد مع الحرارة اللازمة لتكوينه ، فكلما زادت حرارة تكوين الهيدريد ، زادت الحرارة التى تلزم لتفككه ، ويزيد تبعا لذلك ثبات هذا الهيدريد .

وكى يكون الهيدريد مناسباً للاستخدام فى توليد الطاقة ، يجب أن تستوفى فيه عدة شروط ، أهمها أن يكون الهيدريد سهل التكوين وسهل التفكك ، ولذلك فان الهيدريدات التى تتفكك ويتصاعد منها غاز الهيدروجين عند درجات حرارة تزيد على ٣٠٠° م ، لا يمكن استخدامها فى توليد الطاقة لأنها ستكون شديدة الثبات .

كذلك يجب ألا يكون الهيدريد سريع التفكك ، لأن ذلك يثير بعض الصعوبات عند تكوينه ، فيستلزم الأمر زيادة ضغط غاز الهيدروجين فوق سطح الفلز إلى حدود كبيرة حتى يتكون الهيدريد ، مما يرفع من تكلفته ويجعله قليل القيمة اقتصاديا .

ويجب كذلك أن يكون الفلز المستخدم متوافرا ورخيص التكاليف ، وأن يكون الهيدريد الناتج منه صالحا للاستعمال لفترة طويلة تشمل عددا كبيرا من دورات التفكك والتكوين .

وعند تطبيق هذه الشروط على الهيدريدات المعروفة ، نجد أن أغلب الهيدريدات التى تتكون باتحاد فلز واحد مع الهيدروجين لا تحقق المطلوب منها ، فيما عدا هيدريد الماغنسيوم ، فهذا الهيدريد هو الوحيد بين هذه الهيدريدات الذى يصلح للاستخدام ، لأن غاز الهيدروجين يتصاعد منه فى درجات حرارة تقل عن  $300^{\circ}\text{C}$  ، فهو يتفكك تحت الضغط الجوى المعتاد عند  $289^{\circ}\text{C}$  .

وكما يتفاعل غاز الهيدروجين مع الفلزات النقية ، فهو يتفاعل أيضا مع السبائك التى تتكون من أكثر من فلز ، ولذلك فانه يمكن استخدام بعض السبائك فى تخزين غاز الهيدروجين .

ويطلق على مثل هذه الهيدريدات المختلفة اسم « الهيدريدات الثلاثية » Ternary Hydrides لأنها تتكون عادة من سبيكة من فلزين ومن الهيدروجين ، ومن أمثلتها هيدريد الحديد والتيتانيوم ،  $(\text{Fe Ti H}_2)$  وهو يعتبر من اصالح الهيدريدات لاختزان الهيدروجين ، وكذلك هيدريد اللانثانوم والنيكل  $(\text{La Ni}_3 \text{H}_6)$  وإن كان الهيدريد الأول اقل تكلفة من الهيدريد الأخير .

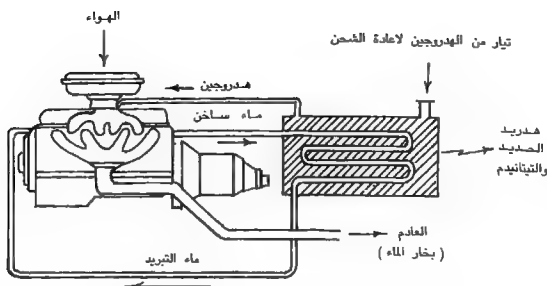
وعند مقارنة هذه الهيدريدات المختلطة مع هيدريد المغنسيوم  $(\text{Mg H}_2)$  نجد أن هذا الأخير يحتوى على نسبة أعلى من الهيدروجين بالنسبة لوحدته الوزن ، وهو كذلك اقل تكلفة من الهيدريدات الثلاثية ، ولكنه كما بينا من قبل يحتاج إلى درجة حرارة عالية لتكوينه وتفككه .

وتحتاج بعض السبائك إلى شئ من التنشيط قبل تفاعلها مع الهيدروجين ، كما أن بعضها منها قد يفقد قدرته على التفاعل مع الهيدروجين إذا احتوى تيار غاز الهيدروجين المار عليها على بعض الشوائب ، مثل أول اكسيد الكربون أو ثانى اكسيد الكبريت ، أو حتى احتوى على بعض الهواء ، ويمكن عادة ازالة تأثير هذه الشوائب بتنشيط هذه السبائك مرة أخرى بتسخينها .

ونظرا لأن هيدريدات الفلزات تحتزن قدرا كبيرا من غاز الهيدروجين فقد اتجه الرأى إلى استخدامها فى ادارة محركات السيارات .

وقد اجريت بعض التجارب فى هذا المضمار فى كل من المانيا والولايات المتحدة ، واستخدمت بعض هذه الهيدريدات فى محركات الاحتراق الداخلى فى السيارات ، كما استخدمت فى ادارة محطات القوى لتوليد الكهرباء .

وتعتبر محركات السيارات التى تستخدم الهيدروجين كوقود ، محركات نظيفة ، فلا ينتج منها الا بخار الماء ، وبعض اثار قليلة من اكاسيد النيتروجين التى تنتج من تفاعل اكسجين وبنترجين الهواء ، وبذلك فهى لا تلوث الهواء ولا تسبب ضررا للبيئة المحيطة بها .



شكل ١٠ - ١ استخدام هيدرات الفلزات في ادارة محرك السيارة

ويتم توفير الحرارة اللازمة لتفكك الهيدريد بامرار تيار من الماء في المحرك ، فترتفع درجة حرارة هذا الماء نتيجة لاحتراق الهيدروجين في المحرك ، ثم يدفع هذا الماء الساخن إلى مبادل حرارى في داخل الهيدريد ، ليرفع درجة حرارته فينتفكك معطيا تيارا ثابتا من غاز الهيدروجين .

وعندما يستنفد الهيدريد ، أى عندما يتوقف تصاعد غاز الهيدروجين ، يعاد شحن السبيكة بامرار تيار من الهيدروجين عليها تحت ضغط أعلى قليلا من ضغط الاتزان ، مع امرار تيار من الماء البارد في المبادل الحرارى الموجود في داخل الهيدريد ، لامتصاص الحرارة الناتجة أثناء تكون الهيدريد .

ومن الملاحظ أن وزن سبيكة الحديد والتيتانيوم المستخدمة في تكوين الهيدريد ، ثقيل إلى حد كبير ، ويعتبر حملا زائدا على محرك السيارة ، ولذلك فانه من المقترح أن يستخدم نوعان من هذه الهيدريدات معا للتغلب على مشكلة الوزن ، بحيث تكون احدهما سبيكة الحديد والتيتانيوم ذات الكفاءة العالية ، والثانى هيدريد المغنسيوم الذى يتميز بخفة وزنه .

وقد استخدمت هذه الهيدريدات في ادارة محرك سيارة ( أوتوبيس ) « ديملر بنز » " Daimler - Benz " في ألمانيا الغربية ونجحت هذه التجربة نجاحا مقبولا .

وقد اجريت كذلك تجارب على بعض محركات السيارات التى تدار بخليط من الجازولين وغاز الهيدروجين ، واستخدم تيار الهيدروجين الناتج من الهيدريدات لتعزيز الجازولين ولزيادة كفاءته وقيمته الحرارية ، وبالتالي زيادة كفاءة المحرك .

وحتى يتم التغلب على وزن السبائك التي تكون الهيدريدات ، فقد اقترح استخدام مثل هذه الهيدريدات بصفة أساسية في ادارة محركات الاحتراق الداخلي الثابتة ، والتي لا يمثل وزن المحرك فيها عاملا أساسيا ، مثل محطات القوى ومحطات توليد الكهرباء .

وقد استخدمت هذه الهيدريدات في الولايات المتحدة منذ عام ١٩٧٦ ، فحضر غاز الهيدروجين من الماء بالتطليل الكهربائي ، ثم اخترن هذا الغاز على هيئة هيدريد الحديد والتيتانيوم ، واستخدم تيار الهيدروجين الناتج من تسخين هذا الهيدريد في ادارة خلية وقود لانتاج الكهرباء قدرتها ١٢,٥ كيلووات ، لمدة عامين متصلين ، استخدم فيهما الهيدريد في ٦٠ دورة من دورات التفكك والتكوين .

كذلك استخدمت بعض الهيدريدات غير الثابتة ، أى التي تتفكك بسرعة معقولة ، في صنع بعض المضخات المستعملة في استخراج المياه من باطن الأرض .

وتتم عملية ضخ الماء بتبادل تكوين الهيدريد بالتبريد ، ثم تفككه بالتسخين ، فيقل الضغط عند تكوين الهيدريد ، ويزيد الضغط عندما يتفكك .

وقد قامت شركة فيليبس بهولندا بصنع جهاز ضاغط للهواء يعتمد على وقود الهيدروجين الناتج من هيدريد اللانثانوم والنيكل ، كما استخدمت بعض هذه الهيدريدات في عمليات التبريد والتكييف .

ومن الملاحظ أن عمليات الضخ وعمليات التبريد تتطلب استعمال جهاز مقفل يوضع فيه الهيدريد ، ولذلك يعاد استخدام غاز الهيدروجين الناتج من تفكك الهيدريد ، في تكوينه مرة أخرى ، ويتكرر دورة تكوين الهيدريد وتفككه يتم الحصول على الطاقة المطلوبة .

وعادة ما يستخدم في مثل هذه الأجهزة نوعان من الهيدريدات يختلف كل منهما عن الآخر في حرارة تكوينه وسرعة تفككه .

ويعتبر خطر الحريق من أهم العقبات التي تقابل استخدام الهيدريدات في توليد الطاقة ، فغاز الهيدروجين سريع الاشتعال ، كما أن مسحوق الفلزات قد يشتعل في الهواء عند ارتفاع درجة حرارته .

ومن الطبيعي أننا لا نتوقع خطر الحريق الا عند وقوع حادث للصندوق الحاوي للهيدريد ، ولكن الخطر الناتج عن ذلك لا يزيد في نظر الكثيرين على الخطر الناتج من استعمال الجازولين في محركات السيارات العادية ، بل قد يكون أقل خطورة من ذلك بكثير .

ومن المعتقد أن غاز الهيدروجين سيصبح من أهم أنواع مصادر الطاقة في السنوات القليلة القادمة ، وأنه سيستعمل وقودا في المصانع وفي محطات القوى وفي المنازل والمتاجر في عمليات التدفئة والتكييف ، خاصة وأن مصادر الطاقة التقليدية مثل زيت البترول والغاز الطبيعي يقدر لها أن تنفذ سريعا في أوائل القرن القادم ، أو يقل المستخرج منها من باطن الأرض كما في حالة الفحم .

ويترتب على ذلك أن هدريدات الفلزات ستصبح ذات أهمية خاصة للاحتياج اليها في تخزين الهيدروجين ، ولا يستبعد أن تصبح الآلات التي تدار بغاز الهيدروجين عن طريق الهدريدات شيئا مألوفا في بداية القرن القادم .





# خلايا الوقود

## Fuel Cells

تتكون خلية الوقود من قطبين تفصلهما مادة موصلة للكهرباء تعرف باسم  
« الإلكتروليت » " Electrolyte "

وقد صنعت أول وأبسط خلية وقود عام ١٨٣٩ ، وقام بابتكارها واحد من  
المشتغلين بالعلم في ذلك الزمان يدعى « سير ولیم جروف » "Sir  
William Grove" ، وقد أهملت هذه الخلية زمنا طويلا حتى فكر الانسان أخيرا  
في استخدامها لإنتاج الطاقة .

وتعمل خلية الوقود عن طريق أكسدة غاز الهيدروجين باكسجين الهواء ،  
فعند مرور تيار من غاز الهيدروجين حول القطب السالب في خلية الوقود ، ومرار  
تيار من غاز الأكسجين أو من الهواء على قطبها الموجب ، فإن ذلك يتسبب في  
انطلاق الإلكترونات من قطب إلى آخر في الدائرة الخارجية ، وبما أن انتقال  
الإلكترونات في الموصلات هو ما نعرفه باسم التيار الكهربائي ، فإن هذا التيار  
يمكن استخدامه في إضاءة مصباح أو إدارة آلة ما .

وعادة ما يكون القطب السالب للخلية مسامى التركيب ، ويحمل في ثناياه  
عاملا مساعدا يستطيع أن يحول جزيئات الهيدروجين  $[H_2]$  إلى أيونات  $[H^+]$   
والكترونات .

وتنتقل هذه الإلكترونات في الدائرة الخارجية ، بينما تنتقل أيونات  
الهيدروجين  $[H^+]$  في الإلكتروليت ، إذا كان هذا الإلكتروليت حمضيا ، وتذهب  
إلى القطب الآخر ، وهناك تستقبل الإلكترونات الآتية من الدائرة الخارجية وتتفاعل  
مع غاز الأكسجين مكونة الماء .

وتتميز خلايا الوقود ببساطتها وكفاءتها العالية ، كما أنه لا يصدر منها أي  
ضجيج من نوع ما ، ولا تعطى أثناء عملها نواتج ضارة تلوث الهواء ، فنواتج  
احتراق غاز الهيدروجين هي بخار الماء فقط ، وهو مكون طبيعي في الغلاف الجوي  
للأرض .

وتعطى خلايا الوقود تيارا مستمرا ، وأقصى جهد يمكن الحصول عليه منها يساوى ١,٢٢ فولت ، ولكن التجارب التى أجريت على خلايا الوقود أثبتت أنه عمليا لا يمكن الحصول على هذا المقدار نظرا لفقده بعض الجهد داخل الخلية نفسها ، وأقصى جهد تم الحصول عليه عمليا لم يزد على نحو ٠,٨ فولت .

ويمكن صنع خلية وقود مبسطة بوضع قطبين من الكربون محملين بقليل من فلز البلاتين كعامل مساعد ، فى حمض الكبريتيك .

وعند امرار تيار من غاز الهيدروجين على أحد هذين القطبين ، وامرار تيار من غاز الاكسجين ، أو من الهواء ، على القطب الثانى ، فان مثل هذه الخلية البسيطة تعطىنا فولتا واحدا من التيار المستمر .

ولا تصلح مثل هذه الخلية البسيطة عمليا لتوليد الكهرباء ، وذلك لأن اقطاب الكربون ذات سطح صغير لا يسمح بسريرىان التفاعل بمعدل مرتفع ، كما أن حمض الكبريتيك لا يعتبر الكتروليتا مثاليا ، نظرا لعدم ثباته وتفككه بمرور الوقت ، هذا بالاضافة إلى أن تجميع عدد كبير من مثل هذه الخلايا ليس من السهولة بمكان .

ويمكن الاستفادة من المبدأ الذى تقوم عليه خلية الوقود وتطويره قليلا ، فيمكن وضع الالكتروليت الموصل للكهرباء على هيئة حشوة رقيقة بين قطبين مساميين ، يحمل كل منهما فى ثناياه العامل المساعد المطلوب .

وتعطى المسامية العالية للأقطاب مساحة هائلة لسطح كل قطب ، مما يرفع كثيرا من معدل التفاعل المطلوب .

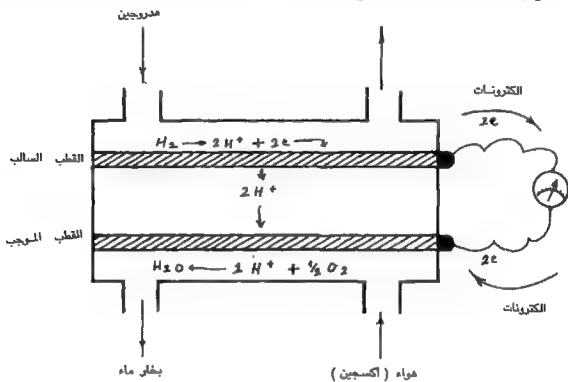
كذلك يمكن تجميع مثل هذه الخلايا على هيئة أعمدة كبيرة ، يتكون كل منها من عشرات من هذه الخلايا ، وتعطى مثل هذه الأعمدة جهدا كهربائيا عاليا ، هو عبارة عن حاصل ضرب الفولت الناتج من كل بطارية فى عدد البطاريات المستعملة ، فى هذا التجمع .

وفى احدى التجارب الحديثة تم تجميع ٥٠٠ خلية وقود فى عمود واحد ، واستخدم حمض الفوسفوريك كالكتروليت فى هذه الخلايا ، واعطت كل خلية منها نحو ٥٠٠ وات تحت جهد يصل إلى ٠,٦٥ فولت ، واستعمل فى هذه الخلايا تيار من الغازات الغنية بالهيدروجين الناتج من النافثا .

وقد اختير حمض الفوسفوريك كالكتروليت فى هذه الخلايا لأنه أكثر ثباتا من حمض الكبريتيك ، ويسمح بتشغيل الخلية عند درجات حرارة متوسطة تتراوح بين ١٥٠ - ٢٠٠°م .

وعند درجات حرارة تقل عن  $150^{\circ}\text{C}$  ، يكون توصيل حمض الفوسفوريك للتيار الكهربائي رديئاً إلى حد ما ، كما أن زيادة درجة حرارة الخلية على  $200^{\circ}\text{C}$  م تؤدي إلى تأثر المواد المكونة للأقطاب وتلفها .

ويمكن استبدال حمض الفوسفوريك بالكتتروليتات أخرى في هذه الخلايا ، فيمكن استعمال مصهور الكربونات مثلاً ، ولكن ذلك يتطلب رفع درجة حرارة خلية الوقود إلى حدود عالية تصل إلى نحو  $600 - 700^{\circ}\text{C}$  ، كما أن ذلك يتطلب إمرار تيار من الغاز يحتوي على أكاسيد الكربون بالإضافة إلى غاز الهيدروجين .



شكل ١١ - ١ خلية وقود

وعند استخدام قاعدة في خلية الوقود مثل هيدروكسيد البوتاسيوم ، فإنه يمكن للخلية أن تعمل بكفاءة عند درجات حرارة منخفضة نسبياً تتراوح بين  $50 - 150^{\circ}\text{C}$  ، ولكن ذلك يقتضي أن تكون الغازات الداخلة إلى الخلية ، سواء مع تيار الهيدروجين أو تيار الهواء ، خالية تماماً من غاز ثاني أكسيد الكربون ، لأن هذا الغاز الأخير يتفاعل بسهولة مع الهيدروكسيد ويحوّله إلى كربونات البوتاسيوم ، فتقل بذلك قدرة الخلية بالتدريج حتى تتلف في نهاية الأمر .

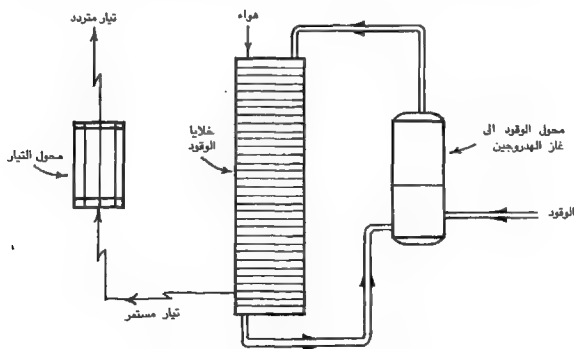
وقد تضمنت بعض التجارب التي أجريت في هذا المجال تجميع عدد من خلايا الوقود المحتوية على حمض الكبريتيك ، كما تم تجميع عدد آخر من خلايا الوقود التي استخدمت فيها بعض البوليمرات والراتنجات ، ومن الناحية النظرية البحتة ، فلا توجد هناك حدود لكفاءة مثل هذه الخلايا .

ولا ينتج عن استعمال خلايا الوقود أية مواد ملوثة من أى نوع ، وذلك لأنها تعتمد على التفاعل الكهروكيميائى فقط ، وحتى فى الحالات التى يستعمل فيها الفحم أو زيت البترول فى إنتاج غاز غنى بالهيدروجين ، فإنه يمكن امتصاص ما بهذا الغاز من اكاسيد الكبريت أو اكاسيد النتروجين قبل ادخال هذه الغازات فى الخلايا ، وبذلك يكون بخار الماء الناتج من تفاعل غاز الهيدروجين مع الاكسجين خاليا تماما من هذه الغازات والشوائب الضارة .

وهناك ميزة أخرى لخلايا الوقود ، وهى أنه لا ينتج عن تشغيلها ضوضاء أو ضجيج مثل بقية محطات القوى الأخرى ، ولذلك فإنه يمكن إقامة محطات توليد الكهرباء التى تدار بخلايا الوقود فى أى مكان فى وسط المدن وفى المناطق الأهلة بالسكان ، مما يوفر قدرا كبيرا من التكاليف عند توزيع الطاقة الكهربائية الناتجة منها .

يضاف إلى ذلك أن خلايا الوقود كلها متشابهة فى التركيب ، وبذلك يمكن صناعتها على نطاق كبير مما يقلل كثيرا من تكلفتها ، ثم تجمع بعد ذلك فى أعمدة بأى عدد مطلوب ، ويخالف هذا تماما ما تتطلبه محطات القوى الأخرى سواء كان منها الحرارية أو النووية ، التى يجب أن تنشأ فى مواقعها .

ويمكن استخدام وحدات مجمعة صغيرة من هذه الخلايا لتوفير الطاقة فى بعض المباني الكبيرة ، أو فى بعض المتاجر الضخمة ، التى قد تحتاج إلى نحو



شكل ١١ - ٢ استخدام خلايا الوقود فى توليد الكهرباء

٢٥ - ٢٠٠ كيلووات من الكهرباء . ومن الممكن استخدام الغاز الطبيعى الذى يحتوى على قدر كاف من غاز الهيدروجين فى مثل هذه الحالات .

ويوفر هذا الأسلوب كثيرا فى استهلاك التيار الكهربائى ، بجانب أنه يمكن استخدام الحرارة الناتجة من الخلايا فى عمليات التدفئة والتسخين فى هذه المباني أو المتاجر ، ويقدر الباحثون فى هذا المجال ، أن كفاءة توليد الكهرباء والحرارة من هذه الخلايا ستصل مستقبلا إلى نحو ٨٠٪ .

ولا تحتاج خلايا الوقود عند استخدامها فى توليد الكهرباء إلا إلى جهاز يحول الوقود إلى غاز غنى بالهيدروجين ، وجهاز آخر يحول التيار المستمر الناتج منها إلى تيار متردد حتى يتمشى مع تيار الشبكة الكهربائية العادية .

وعلى الرغم من أن حمض الفوسفوريك يعتبر حاليا من أفضل الالكتروليتات المستخدمة فى خلايا الوقود ، وأن تجمعات الخلايا التى يستعمل فيها هذا الحمض قد استخدمت بشكل متواصل لتوليد الكهرباء لمدة عدة ساعات ، وصلت فى بعض الأحيان إلى عدة آلاف من الساعات ، إلا أن مثل هذه الخلايا مازالت فى مرحلة الاختبار حتى الآن .

ومن المقرر أن الأنواع الجديدة من هذه الخلايا ستعمل لفترات طويلة من الزمن ، وقد تصل ساعات تشغيل هذه الخلايا المتطورة إلى نحو ٤٠,٠٠٠ ساعة ، أى نحو أربع سنوات ونصف السنة .

ولم تجر حتى الآن دراسات كافية على خلايا الوقود التى يستعمل فيها مصهور الكربونات .

ويستخدم فى هذه الخلايا قطبان مصنوعان من النيكل المسامى ، توضع بينهما طبقة رقيقة من الكربونات ( كربونات البوتاسيوم ) المنصهرة ، بعد خلطها بمادة مالئة .

ولا تعمل هذه الخلايا كما سبق أن بينا ، إلا عند درجة حرارة مرتفعة تصل إلى نحو ٦٥٠° م ، ويكون معدل التفاعل عند الاقطاب المسامية مرتفعا جدا ، ولا يحتاج الأمر إلى استخدام مادة حافزة .

وعندما تعمل هذه الخلايا ، يتكون اكسيد النيكل على القطب الموجب الذى يمر عليه غاز الاكسجين ، ويصبح هو المادة الفعالة فى هذا التفاعل ، على حين يتبقى القطب السالب الذى يمر عليه غاز الهيدروجين ، على حالته ، على هيئة فلز النيكل .

وما زالت هناك بعض الصعوبات التي تعترض استخدام خلايا الوقود على نطاق واسع . ومن أمثلة هذه الصعوبات عدم الوصول حتى الآن إلى الكتروليت ثابت يمكن استعماله فترات طويلة ، فأغلب الالكتروليتات المستخدمة الآن يحدث في تركيبها بعض التغيير أثناء عمل الخلايا ، كما أن جزءا من هذه الالكتروليتات يفقد أثناء تشغيل هذه الوحدات .

وتؤدي مثل هذه الصعوبات إلى تقليل عمر خلايا الوقود ، وتحد قليلا من فائدتها ، ولكن أغلب هذه الصعوبات تكنولوجية يمكن التغلب عليها بمزيد من الدراسة والبحث ، ولا بد أن يتمكن العلماء من إيجاد حلول مناسبة لها في القريب العاجل ، وعندئذ ستصبح خلايا الوقود من أهم مصادر الطاقة في القرن القادم .

## استخدام المخلفات النباتية والزراعية في إنتاج الطاقة

أدت أزمة الطاقة الأخيرة إلى ضرورة الاهتمام بكل المصادر الأخرى التي يمكن أن تعطينا قدرا إضافيا من الطاقة يمكن استخدامه في بعض الأغراض . ومن أمثلة هذه المصادر التي لقيت بعض الاهتمام مؤخرا ، الخشب والقمامة ، وكثير من المخلفات النباتية والزراعية والحيوانية التي يطلق عليها اسم **البيوماس** .

### الخشب :

يتكون الخشب من نوعين من المركبات هما **السليولوز واللجنين** . **السليولوز** عبارة عن مادة كربوهيدراتية تتكون من جزيئات كبيرة تتكرر فيها وحدات السكر ، وقد يصل عدد هذه الوحدات في جزيء السليولوز إلى ٣٠٠٠ وحدة أو أكثر .

أما **اللجنين** فهو مادة معقدة التركيب تحتوى جزيئاتها على بعض حلقات البنزين وبعض مجموعات الميثوكسيل بجانب بعض السلاسل العضوية الأخرى . ويكون اللجنين نحو ٢٥٪ من وزن الخشب ، وهو يكون نسيجا ضامما يتخلل الألياف السليولوز ويربطها معا .

وإستخدام الخشب لإنتاج الطاقة ليس أمرا جديدا ، فقد استخدم الخشب من آلاف السنين في التدفئة وفي طهو الطعام ، واستخدمه الإنسان الأول لاضاءة الكهوف ، ولكنه ترك مكانه بعد ذلك للفحم في القرن التاسع عشر ، ثم ترك الفحم مكانه بعد ذلك لزيت البترول في مطلع هذا القرن .

وقد استخدم الخشب كذلك في كثير من الأغراض الأخرى ، فقد استخدم في إنتاج الفحم النباتي المستعمل في اختزال الخامات عند تحضير بعض الفلزات ،

كما إستخدم الرماد الناتج من حرقه في تحضير بعض المحاليل القلوية ، ثم استخدم فيما بعد في تحضير كربونات البوتاسيوم .

وقد عرف الناس فائدة تقطير الخشب بمعزل عن الهواء في نهاية القرن السابع عشر ، وحصلوا من هذه العملية ، بجانب الفحم النباتي ، على بعض الابخرة التى تم تكتيفها بعد ذلك إلى سائل مائى عرف باسم « السائل الحمضى » ، وإلى سائل آخر كثيف اطلق عليه اسم « قطران الخشب » .

وقد قام الكيميائى الالمانى « جلوير » **Glauber** « علم ١٦٥٨ بفصل حمض الخليك من هذا السائل الحمضى ، كما قام الكيميائى البريطانى « بويل » **Boyle** « عام ١٦٦١ بفصل سائل طيار من السائل الحمضى اطلق عليه اسم « روح الخشب » **Spirit of Wood** ، وهو الذى اطلق عليه « دumas » بعد ذلك عام ١٨٢٤ اسم « الكحول المثليل » .

وقد تمكن الكيميائيون في النصف الثانى من القرن التاسع عشر من فصل الاسيتون من السائل الحمضى ، كما قاموا بفصل كثير من المركبات العضوية الاخرى من سائل القطران ، مثل بعض الاحماض الدهنية وغير المشبعة ، وبعض المركبات الاروماتية مثل الزايلين والكومين والفينولات ، وهى جميعها مواد تقبل الاشتعال وتعطى قدرا من الحرارة عند إحراقها ، كما أن كثيرا منها له فوائد أخرى متعددة .

وقد كان الاستعمال الرئيسى للخشب يهدف إلى الحصول على بعض هذه المركبات الناتجة من تقطيره بمعزل عن الهواء لاستخدامها في تحضير بعض العقاقير والاصباغ وغيرها من المواد النافعة ، واستمر ذلك لمدة طويلة ، ولكن أزمة الطاقة الاخيرة التى مرت بالعالم ، أعادت اهتمام الناس بالخشب كمصدر للطاقة .

ولايعنى استخدام الخشب في إنتاج الطاقة أن نقوم بتقطيع الاشجار وتدمير الغابات ، ولكن يمكن الاستفادة من الثروة الخشبية للغابات واستغلالها بطريقة منظمة ، وذلك بزراعة نوع من الاشجار التى تتميز بسرعة نموها ، في مزارع خاصة ، وفى صفوف متقاربة ، للاستفادة من مساحة الأرض على أكمل وجه ، ثم تقطع هذه الاشجار كل عدة سنوات عند اكتمال نموها ، وتترك جذورها وبراعمها سليمة لتنتج لنا أشجار جديدة تعطينا مزيدا من الخشب في دورة أخرى وهكذا .

وتعرف مثل هذه المزارع باسم « مزارع الطاقة » لأنها تخصص لهذا الغرض فقط ، وتعتبر بعض أنواع أشجار الكافور **Eucalyptus** « من أنسب الأشجار لهذه المزارع فهي سريعة النمو ، وتنمو إلى حجم معقول خلال خمس أو سبع سنوات .

وقد أقيمت احدى مزارع الطاقة من هذا النوع في هاواى عام ١٩٧٩ ، وبلغت مساحتها نحو ٣٤٠ هكتارا .



وهناك عدة طرق لإنتاج الطاقة من الخشب ، منها الطريقة الحرارية ، وهي تتضمن احراق الخشب بطريقة مباشرة واستخدام الحرارة الناتجة ، أو تتضمن تسخين الخشب وتقطيره بمعزل عن الهواء واستخدام ما ينتج عنه من غازات وأبخرة كمصدر للحرارة .

والقيمة الحرارية للخشب لابس بها ، فهي تبلغ نحو ١٩,٨٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام من الخشب الجاف الخالي من الرطوبة ، وهي تقل إلى حد ما عن القيمة الحرارية للفحم التي تبلغ نحو ٢٨,٠٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام من الفحم .

ونظرا لاحتواء الخشب عادة على قدر متغير من الرطوبة ، فإن القيمة الحرارية لأنواع الخشب العادية تقل عن ذلك بنسب مختلفة تتوقف على كمية الرطوبة الموجودة بكل منها .

ولا يمكن الاستفادة من الخشب بطريقة التحلل المائي ، ولا يمكن أن نستخرج منه مواد ذات بال بهذه الطريقة ، وذلك لأن الخشب يحتوى على نسبة عالية من اللجنين الذى لا يتأثر بعمليات التحلل المائي .

وهناك طريقة كيميائية أخرى لاستخدام الخشب في إنتاج الطاقة ، وتتضمن هذه الطريقة تعريض رقائق الخشب أو نشارة الخشب إلى بعض المواد الكيميائية تحت ضغط مرتفع وفي درجة حرارة عالية ، وتعطى هذه الطريقة زيوتا تقبل الاشتعال ويمكن استعمالها وقودا سائلا .

وقد أقيم مصنع تجريبى لهذا الغرض في مدينة البانى بولاية اوريجون بالولايات المتحدة واستخدمت فيه هذه الطريقة لتحويل الخشب إلى زيت قابل للاشتعال ، وتبين من هذه التجارب أن كل ٤٠٥ كيلو جرامات من رقائق الخشب تعطى برميلا واحدا من هذا الزيت ، وهي نسبة لابس بها .

ويمكن كذلك تحويل الخشب إلى غاز بسهولة ، وذلك لانه لا يحتوى إلا على قدر صغير من الرماد لا يزيد على ٢٪ من وزنه ، كما أنه يحتوى على قدر ضئيل من الكبريت لا يزيد على ٠,١٪ ، وبذلك لن تحتوى الغازات الناتجة منه الا على قدر ضئيل جدا من مركبات الكبريت الضارة .

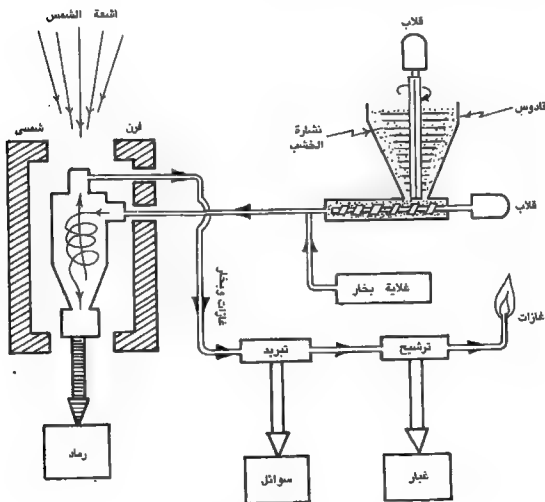
كذلك فإن الخشب غير متغير التركيب ، أى أنه يتكون دائما بنسب ثابتة من كل من الكربون والهيدروجين والاكسجين ، وبذلك يكون تركيب الغازات الناتجة منه ثابتا إلى حد كبير .

## تحويل الخشب إلى غاز باستخدام الطاقة الشمسية

يتحول الخشب إلى غاز عند تسخينه إلى درجة حرارة عالية . ويمكن الحصول على هذه الحرارة العالية بحرق جزء من الخشب لتسخين بقيته ، ولكن هذه الطريقة تؤدي إلى فقد جزء كبير من الخشب ، وهو الجزء الذي يتم حرقه ، والذي قد يصل وزنه إلى نحو ٣٠٪ من وزن الخشب المستعمل على أقل تقدير .

وقد أجرى كثير من التجارب لاختيار أفضل الطرق لتسخين الخشب إلى درجة عالية ، وكانت أفضل هذه التجارب تلك التجربة التي استخدمت فيها الطاقة الشمسية لتسخين الخشب ، وتمت هذه التجربة بنجاح في فرنسا .

ويتكون الجهاز المستخدم في هذه الطريقة من قادوس توضع فيه نشارة الخشب يدور فيه قلاب من نوع خاص يساعد على شحن الجهاز الذي سيتم به التفاعل بمقدار منتظم من هذه النشارة .



شكل ١٢ - ١ استخدام الطاقة الشمسية في تحويل الخشب إلى غازات

ويساعد على حمل نشارة الخشب إلى إناء التفاعل تيار من بخار الماء يصدر من غلاية خاصة تعطى قدرا منتظما من البخار عند درجة حرارة ثابتة .

ويصنع أثناء التفاعل على هيئة فاصل إعصاري يسخن بتركيز حرارة الشمس عليه ، وتصل فيه درجة الحرارة إلى  $1000^{\circ}\text{C}$  .

وتمر نشارة الخشب التي يحملها بخار الماء بسرعة كبيرة في هذا الوعاء ، فهي لا تتعرض فيه لدرجات الحرارة العالية إلا لجزء من الثانية ، ويكفى هذا الزمن الصغير لحدوث الأثر المطلوب ، فيتحول الخشب في الحال إلى غاز يصعد إلى قمة وعاء التفاعل مصحوبا ببخار الماء ، بينما يمر الرماد وبعض المواد الصلبة الأخرى التي تبقى من هذه العملية في القمع الموجود بأسفل هذا الوعاء .

ويمر خليط الغاز والبخار الخارج من قمة الجهاز في مجموعة من أجهزة التبريد تساعد على تكثيف بخار الماء وتكثيف أبخرة بعض المواد الأخرى التي تشبه القار والتي تنتج بقدر ضئيل في هذه العملية ، ثم تمرر الغازات بعد ذلك في مجموعة من المرشحات لتنقيتها من المواد العالقة بها .

ويوفر استخدام الطاقة الشمسية في هذه العملية قدرا كبيرا من الوقود ، ويحفظ لنا جزءا كبيرا من الخشب الذي كان يستعمل من قبل في تسخين الفرن ، كما أن هذه الطريقة لا يتعرض فيها مسحوق الخشب للحرارة إلا لمدة قصيرة جدا فتقل بذلك نسبة المواد التي تشبه القار .

وتعطى هذه الطريقة نتائج طيبة ، فعند تعريض ٢٤٦ جراما من نشارة الخشب لحرارة الفرن الشمسي في وقت يزيد قليلا على الساعة أمكن الحصول على ٨٠,٥٪ من الغازات و ١٤,٣٪ سوائل ، ولم يتبق من المواد الصلبة إلا نحو ٤٪ من الرماد و ١,٢٪ من الغبار .

وبتحليل الغازات الناتجة من هذه العملية تبين أنها تتكون من خليط من ٢٧,٩٪ هيدروجين و ٤٢,٦٪ أول أكسيد الكربون ، و ١٠,٥٪ ثاني أكسيد الكربون و ١٠,٦٪ ميثان و ٦,٣٪ إيثيلين و ١,١٪ أسيتيلين و ٠,٨٪ إيثان و ٠,٢٪ بروبيلين ، وجميعها غازات تقبل الاشتعال فيما عدا ثاني أكسيد الكربون .

وقد تبين من نتائج عدة تجارب من هذا النوع أنه يمكن الحصول في المتوسط على نحو ٠,٨٥ لتر من هذه الغازات من كل جرام من الخشب الجاف .

والقيمة الحرارية للغازات الناتجة بهذه الطريقة مرتفعة فهي تبلغ نحو ١٨٣٢٠ كيلو جول لكل متر مكعب منها ، وهذه القيمة أعلى من القيمة الحرارية للغازات الناتجة من تسخين الخشب بالطرق المعتادة ، والتي تبلغ في المتوسط حوالى ٥٠٠٠ كيلو جول لكل متر مكعب .

والسبب في ارتفاع القيمة الحرارية للغازات الناتجة بهذه الطريقة هو قلة ما بها من غاز ثاني أكسيد الكربون والذي لا تزيد نسبته فيها على ١٠ - ١١٪ فقط ، كما أن هذه الغازات تحتوى على نسبة عالية من الهيدروكربونات مثل الميثان والايثان والاثيلين والاسيتيلين والبروبيلين وهى نسبة تصل إلى نحو ١٨٪ من الغازات الناتجة .

## البيوماس ( الكتلة الحيوية ) « Biomass »

تطلق كلمة البيوماس على المخلفات الحيوانية وكل المخلفات الزراعية التى تبقى في الحقول بعد جنى المحاصيل ، مثل أعواد القمح وقش الارز وبقايا الذرة وغيرها .

ويضاف إلى ذلك أيضا بعض مخلفات تصنيع الاخشاب في المناطق التى توجد بها الغابات ، فعند تحويل الشجرة إلى كتل من الخشب يتبقى منها جزء كبير نسبيا لا يمكن استغلاله ، وهو عبارة عن فروعها الصغيرة وقطع اللحاء والاوراق ، ويبلغ هذا الجزء غير المستغل نحو ٤٠٪ من وزن الشجرة في المعتاد ، ويمكن الاستفادة منه في إنتاج الطاقة بهذا الاسلوب .

وتتلخص هذه الطريقة في تخمير البقايا النباتية والحيوانية في حفر خاصة ، فيتصاعد منها غاز قابل للاشتعال يعرف باسم « الغاز الحيوى » ، « Biogas » وهو غاز يتكون أساسا من الميثان ، ويمكن استخدامه في عمليات الطهو والتسخين في المناطق الريفية .

وبالإضافة إلى فائدة هذه الطريقة في توفير الطاقة الرخيصة في القرى والمناطق الريفية ، فهي تمنع أيضا تلوث البيئة بهذه المخلفات وتسمح بالتخلص منها بطريقة اقتصادية ونافعة ، كما أن ما يتبقى من عمليات تخمير هذه المخلفات يمكن إستخدامه في أغلب الاحوال كسماد طبيعى يساعد على زيادة خصوبة التربة الزراعية .

وقد استعملت هذه الطريقة لإنتاج الغاز الحيوى في كل من الصين والهند ، كما استخدمت بنجاح في بعض القرى في جمهورية مصر العربية .

وهناك برنامج طموح لتعميم هذه الطريقة لإنتاج الغاز الحيوى في كل قرى الريف المصرى ، وذلك بإنشاء عدد كبير من هذه الوحدات حتى عام ٢٠٠٠ ، ومن المقرر أن الغازات المتولدة من هذه الوحدات ستوفر قدرا كبيرا من المال اللازم لاستيراد اسطوانات البوتاجاز المستعملة حاليا في قرى الريف المصرى ، بالإضافة إلى أن ما سيبقى من مخلفات من هذه العمليات سيستعمل سمادا لزيادة خصوبة

التربة الزراعية مما سيوفر كذلك تكاليف استخدام المخصبات الزراعية المخلفة كيميائيا .

وهناك طريقة أخرى للاستفادة من بعض المخلفات الزراعية التي توجد بها نسبة عالية من الزيوت ، فيمكن تحويل بعض هذه المحاصيل أو مخلفاتها بطريقة مباشرة إلى نوع من الزيت يشبه زيت الديزل يمكن استخدامه مباشرة في محركات الاحتراق الداخلي بكفاءة عالية دون الحاجة إلى إحداث أى تغيير أو تعديل في هذه المحركات .

وقد استخدم نوع من هذا الوقود في سباق للسيارات اقيم في الولايات المتحدة عام ١٩٨٢ ، وقام بعض طلاب جامعة ميتشجان باستخدام خليط من زيت الصويا وزيت الخروع مع قليل من الكحول في إدارة محركات سياراتهم لمسافة ٢٤٠ كيلو مترا .

وقد لفتت هذه الواقعة الانتظار ، واعتبرت مؤشرا عمليا لامكانية استخدام بعض الزيوت النباتية كمصدر للطاقة في محركات الاحتراق الداخلي وفي محركات السيارات ، وهناك كثير من الدراسات والبحوث التي تجرى حاليا لتطوير هذا النوع من الوقود واستخدامه على أسس اقتصادية .

كذلك يمكن تحويل بعض الاعشاب البحرية إلى غازات وسوائل تصلح للاستخدام كوقود . ويصلح لهذا الغرض بعض الطحالب البنية التي تنمو بجوار الشواطئ ، فهي تنمو بمعدل كبير يصل في بعض الأحيان إلى ١٠٠ سم في اليوم الواحد ، ويمكن بذلك استخدامها بطريقة اقتصادية .

وهناك أيضا دراسات تجرى على بعض الطحالب الغنية بالزيوت مثل تلك الطحالب التي تنمو في بعض الأحيان على سطح البرك والمستنقعات ، وهناك محاولات لزراعة هذه الطحالب في مزارع خاصة واستخراج مابها من زيوت يمكن إستخدامها في تصنيع انواع من الوقود .

## « Gasohol » : الجازوهول

يمكن الاستفادة من النباتات الزراعية بطريقة تختلف كثيرا عن الطرق السابقة ، فيمكن تخمير بعض المواد النشوية أو المواد السكرية الموجودة بهذه النباتات أو المخلفات بطريقة خاصة تحولها إلى كحول إثيلي وهو الكحول المعتاد .

كذلك يمكن معالجة مثل هذه المخلفات النباتية بطريقة أخرى بحيث تعطى خليطا من غازى الهيدروجين وأول اكسيد الكربون ، ويمكن تحويل هذا الخليط بعد ذلك إلى كحول آخر يعرف باسم الكحول المثيلي .

وقد نشأت فكرة استخدام الكحول كوقود في محركات السيارات في أثناء ازمة الطاقة التي بدأت عام ١٩٧٣ ، وكانت البرازيل سباقة في هذا المضمار فقد بدأت عام ١٩٧٥ في استعمال خليط من الجازولين ومن الكحول الايثيل الخالص كوقود لادارة محركات السيارات ، وبلغت نسبة الكحول في هذا الوقود نحو ٢٢٪.

وقد أطلق على هذا الخليط اسم الجازوهول ، وهى كلمة مشتقة من كلمتى جازولين وكحول (GASO line / alco HOL) .

وعلى الرغم من إرتفاع سعر الكحول كثيرا على سعر الجازولين فقد يصل سعره إلى أكثر من ثلاثة أضعاف سعر الجازولين ، إلا أن له بعض الميزات الأخرى التى تؤهله للاستخدام في محركات الاحتراق الداخلى .

وأحدى هذه المميزات أن الرقم الاوكتينى للكحول أعلى من الرقم الاوكتينى للجازولين ، وهذه الخاصية تعوض النقص في قيمته الحرارية التى لاتزيد على ثلثى القيمة الحرارية للجازولين كما يتبين من الجدول التالى .

### القيمة الحرارية والرقم الاوكتينى لبعض أنواع الكحولات والجازولين

| نوع الوقود              | القيمة الحرارية<br>كيلو جول / لتر | نسبة الهواء<br>الى الوقود<br>(جم / جم) | رقم الاوكتينى |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|---------------|
| الجازولين               | ٣٢٠٠٠                             | ١٤,٤                                   | ٩٩ - ٩٧       |
| الميثانول               | ١٥٨٧٠                             | ٦,٤                                    | ١٠٦           |
| الايثانول               | ٢١٣٨٥                             | ٨,٩٥                                   | ١٠٦           |
| الكحول البيوتيل الثلاثى | ٢٥٧٩٠                             | ١١,١                                   | ١١٣           |

ونظرا لارتفاع الرقم الاوكتينى للكحول ، فهو يؤدى إلى رفع الرقم الاوكتينى للجازولين عند خلطهما معا ، وبذلك يمكن رفع نسبة انضغاط المحرك وتزداد قدرته ، ولاتصبح هناك ضرورة لاضافة بعض المواد الأخرى التى ترفع الرقم الاوكتينى للجازولين مثل رابع أثيل الرصاص وهى مواد تضر المحرك وتسبب أيضا بعض الاضرار للبيئة ومابها من كائنات .

ويتبين كذلك من الجدول السابق أن الكحولات تحتاج إلى قدر قليل من الهواء لاحتراقها احتراقا كاملا ، فالجرام الواحد من الجازولين يحتاج الى ١٤,٤ جرام من الهواء لاحتراقه احراقا كاملا إلى ثانى اكسيد الكربون والماء ، على حين

يحتاج الجرام الواحد من الميثانول ( الكحول المثيلي ) الى ٦,٤ جرام من الهواء فقط .

ويرجع السبب في قلة كمية الهواء اللازمة لاحتراق الكحول إلى أن جزيء الكحول يحتوى في تركيبه على بعض الأكسجين ، ويستخدم الكحول هذا الأكسجين بالإضافة إلى أكسجين الهواء في إحراق ما بجزيئه من ذرات الكربون والهيدروجين .



هكسان

( أحد مركبات الجازولين )

الجزء خال من الأكسجين



إيثانول

( كحول )

الجزء يحتوى على أكسجين (O)

ويترتب على هذه الحقيقة أنه يجب إجراء بعض التعديل في نسبة الهواء الداخلة إلى محرك السيارة عند استخدام خليط الكحول والجازولين ( الجازوهول ) حتى ينتظم اشتعال الوقود في المحرك .

وهناك ملاحظة أخرى يجب أخذها في الاعتبار عند استخدام الجازوهول في محركات الاحتراق الداخلي ، وهي نسبة الماء الذي قد يوجد بهذا الخليط .

فمن المعروف أن الجازولين يكون عادة خاليا من الماء تماما ، ولاتزيد نسبة الماء فيه تحت أسوأ الظروف على ٨٠ جزءا في المليون ، أما بالنسبة للكحول ، فهو عادة ما يحتوى على قدر من الماء مختلطا به ، ويصعب إزالة هذا القدر من الماء إلا في حالة الكحول المطلق أو الخالص ، وتصل نسبة الماء في الكحول تحت أفضل الظروف إلى نحو ١٠٠٠ جزء في المليون أو أكثر .

وعند إحترق الكحول على مثل هذا القدر من الماء ، فإنه لن يختلط تماما بالجازولين في درجات الحرارة العادية ، بل سينفصل خليطهما إلى طبقتين ، تحتوى إحداهما على الماء وعلى أغلب الكحول ، وتحتوى الأخرى على الجازولين .

ولو ترك خليط الجازوهول على هذا الحال ، فإن الوقود الذي سيصل إلى محرك السيارة لن يكون ثابت التركيب ، بل ستتغير نسبته من لحظة إلى أخرى ، فحينما ما يصله الجازولين فقط وفي حين آخر يصله الكحول والجازولين وهكذا .

وسيؤدى عدم انتظام تركيب الوقود إلى عدم إنتظام عملية الاحتراق داخل المحرك مما سيتربط عليه عدم انتظام دوران المحرك ويؤدى بالضرورة إلى ضعف قدرته .

ولما كان فصل الماء عن الكحول وتحويله إلى كحول مطلق عملية مرتفعة

التكاليف ، فقد فكر القائمون بهذه التجارب في إضافة مذيب مشترك يستطيع الامتزاج مع كلتا الطبقتين ويصنع منهما سائلا تام الامتزاج يتكون من طبقة واحدة .

وقد استخدم لهذا الغرض الكحول البيوتيلي الثلاثي ، وهو يتميز بقدرته على الامتزاج مع كل من الكحول العادي والجازولين ، كما أنه تام الامتزاج بالماء ، وبذلك فهو يكون معها جميعا سائلا تام الامتزاج لايفصل إلى طبقات .

وقد استعمل الكحول البيوتيلي الثلاثي بنسب مختلفة ، فهو يضاف بنسبة جزعين إلى ثلاثة أجزاء من الكحول عند إستخدام الكحول الميثيلي بنسبة جزئين إلى خمسة أجزاء من الكحول عند استخدام الكحول الاثيل .

ومن الملاحظ أن القيمة الحرارية للكحول البيوتيلي الثلاثي مرتفعة إلى حد كبير ، كما أن رقمه الاوكتييني أكثر ارتفاعا من كل من الجازولين والكحولات الاخرى ( انظر الجدول السابق ) ، وبذلك فإن اضافته للجازوهول تخدم غرضين معا ، أحدهما هو التغلب على انفصال الوقود الى طبقتين ، وثانيهما رفع القيمة الحرارية والرقم الاوكتييني للجازوهول .

وقد بدأت البرازيل في إنتاج كل من الكحول الاثيل ( الايثانول ) والكحول الميثيل ( الميثانول ) منذ عام ١٩٧٥ ، وقد استهدفت خطة الانتاج في ذلك الوقت أن تصل نسبة الكحولات المستخدمة في وقود محركات السيارات إلى ٢٠٪ من الوقود الكلي المقدّر استهلاكه في هذا الغرض .

وقد تضمنت الخطة إنتاج ٢,٢ مليار لتر من الايثانول من سكر القصب ، على أساس انتاج ٦٧ لترا من الايثانول من كل طن من القصب ، واستخدمت بقايا القصب الناتجة بعد فصل العصير ، والمعروفة باسم « الباجاس » والتي نعرفها باسم « مصاصة القصب » ، في توفير الطاقة اللازمة لعمليات التخمير والتقطير .

وقد مكنت هذه الخطة البرازيل من استهلاك قدر كبير من فائض إنتاجها من قصب السكر ، كما أنها تمكنت أيضا من توفير عدة ملايين من الدولارات كانت البرازيل تنفقها في شراء الجازولين اللازم لإدارة محركات السيارات بها .

وقد استطاعت البرازيل أن ترفع من إنتاجها للكحول بنسبة عالية ، فقامت عام ١٩٨٤ بانتاج ٩ مليارات لتر من الكحول ، استخدمتها في صنع الجازوهول ، وتمكنت بذلك من توفير نحو ٦,٥ مليون طن من البترول تمثل نحو ١٥٪ من الاستهلاك الكلي للوقود في محركات سياراتها.

وقد سارت الولايات المتحدة على نفس المنوال ، وبدأت في إستخدام



الجازوهول عام ١٩٧٩ ، وقامت بانتاج قدر صغير من الجازولين المحتوى على نسبة صغيرة من الكحول المطلق الخالى من الماء وكانت نسبة الكحول في هذا الخليط لاتزيد على ١٠٪ على أكثر تقدير .

وقد استخدمت الولايات المتحدة الذرة في صنع الكحول وقامت برفع إنتاجها من الكحول عام ١٩٨٤ إلى ٢,٦ مليار لتر استخدمت جميعها في صنع الجازوهول ، ووفر لها ذلك نحو ١,١ مليون طن من البترول .

ومن الملاحظ أن البرازيل قد قامت بتصنيع الكحول من قصب السكر بينما قامت الولايات المتحدة بانتاجه من الذرة ، وكلاهما من المواد التي يعتمد عليها غذاء الانسان .

ويرى كثير من الناس أنه يجب الحرص في استخدام هذه المواد الغذائية وعدم التفريط فيها ، ويجب أن يقتصر استعمالها على صنع الغذاء فقط ، فغذاء الانسان أهم كثيرا من غذاء السيارات .

ويرى المتحمسون لفكره استخدام الجازوهول ، أن إنتاج الكحول في كل من البرازيل والولايات المتحدة يعتمد على وجود فائض كبير في هذه النباتات ، فالبرازيل تستخدم فائض محصول قصب السكر بها وتستخدم الولايات المتحدة ما يفىض عن حاجتها من محصول الذرة .

ويقدر البعض أن الولايات المتحدة تستطيع أن تنتج نحو ١٦ مليارا من اللترات من الكحول من بقايا الذرة ومن فائض محصولها دون أن يؤثر ذلك على استخدام الذرة في صنع الغذاء .

ويرى البعض الآخر أنه يمكن استخدام مزارع خاصة للطاقة تزرع بها بعض المحاصيل أو الاشجار سريعة النماء التي يمكن استخدامها في هذا الغرض ، ويمكن إقامة مثل هذه المزارع في البلاد التي تمتلك مساحات شاسعة من الاراضى الصالحة للزراعة كما في حالة البرازيل .

ونظرا لأن الكحول الميثيلي ( الميثانول ) يمكن تحضيره من غاز الماء وهو خليط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون ينتج من تفاعل بخار الماء مع الفحم الساخن ، فانه يفضل استعماله في صنع الجازوهول لأن ذلك يبتعد بنا عن استخدام المواد النشوية أو السكرية المستخدمة في صنع الغذاء .

ويمكن أيضا إنتاج الميثانول من مزارع الطاقة ، فيمكن مثلا لدولة مثل البرازيل أن تنتج ما تحتاجه من ميثانول ، وهو يقدر بنحو ٤٥ مليون طن ، من نحو

٥ ملايين هكتار من الارض المزروعة باشجار الحور أو اشجار الكافور .  
وقد تبدو هذه المساحة هائلة لأول وهلة ، ولكنها بالنسبة لدولة مثل البرازيل لاتمثل الا نحو ٠,٦٤ ٪ من مساحتها الكلية .

ويمكن تطبيق هذه الطريقة في أغلب البلاد الاخرى التى تمتلك أرضا واسعة  
يمكن زراعتها ، وجوا دافئا رطبيا يصلح لنمو الغابات .

وحتى البلاد الشمالية الباردة ، مثل كندا والسويد ، فهى تفكر هى الاخرى  
في استخدام جزء من غاباتها المتسعة في إنتاج الكحول لاستخدامه بعد ذلك في  
تصنيع الجازوهول .

اما بالنسبة للبلاد الاوروبية ، فقد فكرت فرنسا في استخدام الكحول في  
محركات السيارات منذ أكثر من ثلاثين عاما ، أى منذ عام ١٩٥٠ على وجه  
التحديد . وتحتاج فرنسا اليوم إلى إنتاج نحو ٢ مليون طن من الكحول لتصنيع  
الجازوهول اللازم لسياراتها والمحتوى على ١٥ ٪ من الكحول .

وتفكر أيضا بعض الدول الأوروبية التى تملك مناجم كبيرة للفحم في  
أراضيها ، مثل بريطانيا والمانيا ، في تحويل جزء من هذا الفحم إلى غاز الماء  
واستخدامه بعد ذلك في صنع الميثانول ، ومنه تصنع الجازوهول اللازم لإدارة  
محركات سياراتها مما يوفر لها قدرا كبيرا من وقود الجازولين ، كما أنه يسمح  
بمساهمة الفحم ولو جزئيا في حل مشكلة الطاقة في قطاع النقل والمواصلات .

ويمكن كذلك للدول المنتجة للبترول ، مثل دول منظمة الاوبك ، أن تحول  
جزءا من الغازات المصاحبة للبترول ، والتى تقوم بحرقها في الهواء ، إلى كحول  
الميثانول وذلك باكسدة الغاز الطبيعي الناتج والذي يتكون أساسا من غاز الميثان ،  
إلى كحول الميثانول تحت بعض الظروف الخاصة .

وقد قدرت كميات الغاز التى يتم التخلص منها بحرقها في المملكة السعودية  
وحدها ، بلنها تكفى للوفاء باحتياجات دولة كبرى مثل فرنسا .

وقد أبدت شركات تصنيع السيارات اهتماما كبيرا بهذا النوع المستحدث  
من الوقود ، فقام بعض منها بتصميم محركات جديدة يمكن إدارتها بالجازوهول  
أو باستخدام الكحول الخالص وحدة .

وقد قامت شركة « أوبل » ، وكذلك شركة « بورش » بصنع نماذج لهذه  
المحركات منذ عام ١٩٧٤ ، كما قامت بعض الشركات الاخرى ، مثل شركات  
« فورد » و « جنرال موتورز » و « الفاروميو » بمحاولات معاكلة منذ عهد قريب .

ويجب أن نعلم أن تشغيل محرك السيارة بالكحول المطلق وحده يحتاج إلى قدر كبير من الكحول وإلى قدر آخر أكبر من سكر القصب ، ويتضح ذلك من بعض الدراسات التي أجريت في هذا الشأن في البرازيل ، وتبين منها أن سيارة متوسطة الحجم مثل سيارة « فولكسفاغن باسات » تحتاج إلى ١٩٠٠ لتر من الكحول المطلق كل ١٥٠٠٠ كيلو متر ، ويحتاج إنتاج هذا القدر من الكحول إلى نحو ٢٢ طنا من سكر القصب .

وتختلف نسبة الكحول المضافة إلى الجازولين من بلد لآخر ، وقد تختلف هذه النسبة من ولاية إلى أخرى داخل نفس البلد كما في الولايات المتحدة ، فتبلغ نسبة الكحول في الجازوهول نحو ٢٣٪ في بعض الولايات التي تزرع الذرة ، وقد تصل إلى صفر ٪ في بعض الولايات الأخرى التي لا تزرع الذرة .

وبصفة عامة ، فإن جملة المواد الأكسجينية المضافة إلى الجازولين ، مثل الميثانول والإيثانول والكحول البيوتيل الثلاثي لم تكن تزيد على ٠,٨٪ من وقود الجازولين الكلي المستخدم في الولايات المتحدة حتى عام ١٩٨٤ ، ثم ارتفعت هذه النسبة مؤخراً وبلغت نحو ٥,٤٪ في نهاية عام ١٩٨٥ ، وهي تبين أن هناك تصاعداً في استخدام الجازوهول في الولايات المتحدة في السنوات الأخيرة .

ويكاد يكون هناك شبه اتفاق في كثير من الدول الأوروبية على ألا تزيد نسبة هذه الكحولات في الجازوهول على ١٥٪ كما في ألمانيا وفي السويد .

وهناك دراسات أخرى متعددة تتعلق باستخدام النباتات في إنتاج الطاقة ، وتتضمن إحدى هذه الدراسات استخدام بعض أنواع النباتات التي تدر عصارة تشبه اللبن في قوامها .

وهذه النباتات من نوع « الفربيون » ومن عائلة شجر « المطاط » وهي تعطى عصارة بيضاء عبارة عن مستحلب مائي يحتوى على ٢٠ - ٤٠٪ من المركبات الهيدروكربونية التي تشبه هيدروكربونات النفط الخام في كثير من صفاتها .

وتختلف عصارة هذه النباتات عن عصارة شجرة المطاط فلو أننا فصلنا الماء عن عصارة شجرة المطاط لتبقى لنا كتلة من المطاط المرن ، أما إذا فصلنا الماء عن عصارة هذه الشجرة فإنه يتبقى لنا زيت يمكن تحويله إلى وقود أو زيوت تشحيم .

وجزيئات الهيدروكربونات المكونة لعصارة هذه الأشجار أصغر بكثير من جزيئات الهيدروكربونات المكونة لعصارة شجر المطاط ، فوزنها الجزيئي لا يزيد على عشرين الفا بينما يبلغ الوزن الجزيئي لهيدروكربونات المطاط نحو خمسمائة ألف ، وهذه ميزة كبيرة لأنها تجعل تكريرها أكثر سهولة .

ومن المقدر أن هكتارا واحدا من مثل هذه الأشجار يمكن أن يعطى ما يعادل ٥٠ برميلا من سائل يشبه النفط الخام في العام .

ويرى البعض أن مثل هذه الأشجار قد تصبح يوما ما مصدرا هاما للطاقة وقد يمكن تسميتها « بأشجار الجازولين » ، وأن كانت لن تستطيع أن تحل مشكلة الوقود وحدها .

## إنتاج الغاز من القمامة والنفايات

تقوم بعض المدن باستخدام القمامة والنفايات الناتجة من سكانها في إنتاج الطاقة .

وأبسط الطرق المستخدمة في ذلك هو حرق هذه النفايات والاستفادة من الحرارة الناتجة في إنتاج البخار الذي يمكن استعماله بعد ذلك في عمليات التدفئة والتسخين أو في توليد الكهرباء .

والقيمة الحرارية للقمامة لابس بها ، خاصة تلك القمامة التي تتكون من الاوراق الجافة وقطع القماش وغيرها ، فهي تعطى ٢٠٠٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام ، وهي تقترب كثيرا من القيمة الحرارية للفحم التي تبلغ ٢٨٠٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام على حين تزيد القيمة الحرارية على ذلك بالنسبة للقمامة التي تتكون من بقايا الطعام واللحوم .

وعلى الرغم من أن طريقة حرق النفايات تنتج قدرا وافرا من الطاقة ، كما انها تخفض كثيرا من حجم النفايات التي يجب التخلص منها ، الا أن هذه الطريقة تعترضها بعض الصعوبات أهمها تلوث الهواء بالغازات الناتجة من الاحتراق وتصاعد قدر كبير من الغبار مع هذه الغازات ، ولذلك يجب أن تتضمن طرق حرق القمامة وجود تجهيزات خاصة لغسل الدخان الناتج بالماء أو وجود وسائل كهروستاتيكية لازالة الغبار من الغازات الناتجة

وقد لوحظ أن أكوام القمامة المتراكمة بعضها فوق بعض يحدث بها بعض التخمر . وتبين فيما بعد أن هذا التخمر يحدث بواسطة بعض أنواع البكتريا التي لا تستعمل الاكسجين ، ويؤدي ذلك الى تحلل ما بالقمامة من مواد عضوية ويتحول اغلبها إلى غاز الميثان الذي يملأ الجو المحيط باكوام القمامة ، وهو المسئول عن تلك الرائحة الغريبة التي تسبب الغثيان التي تخيم على مستودعات القمامة ، وهو أيضا المسئول عن بعض الانفجارات التي تحدث في بعض هذه المستودعات وما يصحبها من اشتعال للنيران .

وقد قامت بعض الشركات في الولايات المتحدة وغيرها باستغلال هذا التفاعل الذى يحدث طبيعياً في مستودعات القمامة وقامت باستخلاص غاز الميثان الناتج ، ثم قامت بتسويقه إلى غيرها من الشركات .

ولا يكون غاز الميثان الناتج من هذا التخمر في حالة نقية بل يصحبه عادة غاز آخر هو ثاني أكسيد الكربون . ونظرا لأن غاز ثاني أكسيد الكربون لا يشتعل ولا يساعد على الاشتعال ، فإن وجوده مختلطا بالميثان يقلل كثيرا من القيمة الحرارية لهذا الأخير ، ولذلك فإنه يجب فصل غاز ثاني أكسيد الكربون قبل تسويق الميثان .

وتعتبر عملية فصل ثاني أكسيد الكربون عن غاز الميثان عملية شاقة ، وعند استعمال المواد الكيميائية في هذا الفصل تصبح هذه العملية باهظة التكاليف .

وقد ابتكرت مؤخرا أغشية رقيقة من أنواع خاصة من البلاستيك تسمح لغاز ثاني أكسيد الكربون بالنفاذ على حين تقوم بحجز الميثان ، وقد نجحت هذه الطريقة بصورة جيدة في فصل هذين الغازين أحدهما عن الآخر ، ولكن يشترط لنجاحها أن تكون درجة حرارة خليط الغازين ثابتة عند حد معين على الدوام .

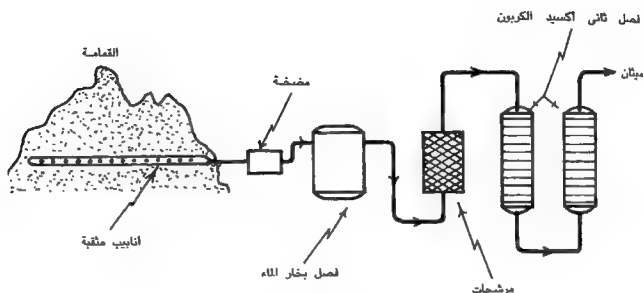
والغاز الناتج من عملية الفصل لا يكون عالى النقاوة ولكنه يكون نقياً بدرجة كافية ، فهو يعطى نحو ٤١ وحدة حرارية لكل لتر ، وهى قيمة تقترب كثيرا من القيمة الحرارية للغاز الطبيعي الذى نحصل عليه من الآبار الطبيعية وهى تبلغ نحو ٤٣ وحدة حرارية لكل لتر .

وقد أقيمت وحدة لفصل غاز الميثان من القمامة بولاية أوريجون بالولايات المتحدة ، واستخدم الغاز الناتج في تدفئة نحو ٣٧٠٠ منزل ، كما قامت شركة أخرى بإنشاء مصنع آخر كبير على جزيرة ستاتين بمدينة نيويورك لنفس الغرض ، وتبلغ طاقته نحو ١٤٠ ألفا من الامتار المكعبة من غاز الميثان يوميا .

وتتضمن عملية إنتاج الغاز حفر خنادق أو آبار في مستودع النفايات ، وتوضع بها أنابيب متقبة يدخل منها الغاز . وتقوم المضخات بسحب الغاز من هذه الأنابيب ، ويفصل منه بخار الماء أولا ، ثم يدفع إلى مرشحات تحتوي على بعض الكربون المنشط لازالة ما يكون به من أبخرة أخرى غير مرغوب فيها ، ثم يدفع الغاز بعد ذلك إلى مجموعة من الاسطوانات المحتوية على أغشية رقيقة من بوليمر الاسيتات .

وعادة ما يحتوى غاز الميثان على نسبة عالية من غاز ثاني أكسيد الكربون قد تصل إلى نحو ٤٥٪ من حجمة الكلى . وتقل نسبة هذا الغاز كثيرا بعد مرور الميثان

في أغشية البولى استيتات عدة مرات ، وقد لاتزيد نسبة ثانى أكسيد الكربون في نهاية هذه العملية على ٥ - ٨٪ من الحجم الكلى للغاز ، الذى يصبح صالحا بعد ذلك للاستعمال تجاريا .



شكل ١٣ - ١ استخلاص غاز الميثان من القمامة

ولاتصلح لهذا الغرض إلا النفايات أو القمامة التى تحتوى على مواد عضوية يسهل تخمرها بواسطة البكتريا ، مثل الورق والخشب والقماش .

ويجب أن تخلو مثل هذه النفايات من المواد المشعة أو المواد الكيميائية الضارة مما قد يلوث غاز الميثان الناتج ويصل هذا التلوث مع الغاز إلى المنازل والمتاجر خلال شبكة التوزيع .

وتمثل مخلفات الصرف الصحى ، وهى نوع من النفايات العضوية ، مصدرا آخر لغاز الميثان ، وهناك تجارب كثيرة ودراسات تجرى في هذا المضمار للحصول على غاز الميثان بطريقة اقتصادية .

وقد استعمل غاز الميثان لإدارة محركات مجموعة من السيارات في كاليفورنيا بالولايات المتحدة لمدة عامين ، ويعتبر هذا الغاز أقل تكلفة من الجازولين كما أنه أقل منه ضررا بالمحرك ، وقد يصبح هذا الغاز هو الوقود الوحيد المستعمل في آلات الاحتراق الداخلى في المستقبل عندما تتحسن النواحي الاقتصادية المتعلقة بإنتاجه .





## تخزين الطاقة

نظرا لاحتمالات نضوب المصادر الطبيعية للطاقة ، مثل الغاز الطبيعي وزيت البترول في خلال الاعوام القليلة القادمة ، فقد انطلقت اليوم صيحة في كل أرجاء العالم تطالب بترشيد استهلاك الطاقة بكل أنواعها حفاظا على ما تبقى من هذه المصادر الطبيعية غير المتجددة .

وقد تبنى هذا الاتجاه كثير من الدول الصناعية المتقدمة وهى الدول التى تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة في صناعاتها ، وفي مختلف مناحى حياتها المعتادة .

وقد بلغ هذا المطلب مبلغ التحدى بالنسبة لكثير من الدول الغربية في أعقاب الحظر على البترول العربى بعد حرب الشرق الأوسط عام ١٩٧٣ ، حتى أن رئيس جمهورية الولايات المتحدة ، جيمى كارتر ، قام بتوجيه نداء إلى الشعب الأمريكى في ذلك الحين يطلب فيه الا يزيد ما تستورده الولايات المتحدة من البترول ، في أى يوم من الايام ، على ما كانت تستورده عام ١٩٧٧ ، وهو لايزيد على ٨,٥ مليون برميل في اليوم من جملة ما تستهلكه يوميا ، وقدره نحو ثمانية عشر مليونا من البراميل .

كذلك تضمن هذا النداء ضرورة العمل على تخفيض استهلاك البترول في الولايات المتحدة بنسبة ٥٠٪ عام ١٩٩٠ .

وقد قام كثير من الدول الغربية بتخصيص مبالغ كبيرة للصرف منها على البحوث الخاصة بايجاد مصادر جديدة للطاقة ، كما وجهت جزءا من هذه البحوث لايجاد افضل الطرق لترشيد استخدام الطاقة المتاحة لديهم .

وتعتبر طرق تخزين الطاقة من أهم طرق ترشيد استغلال الطاقة ، وهذه الطرق لاتؤدى إلى تقليل الاعتماد على الطاقة ، ولكنها تخزن الطاقة الزائدة في وقت من الاوقات ، لاستعمالها في وقت لاحق عندما تشتد الحاجة اليها ، وبذلك تؤدى إلى خفض استهلاك الطاقة بشكل عام .

وقد نجحت طرق تخزين الطاقة بشكل خاص في قطاع الكهرباء وهو القطاع الذى يزداد فيه الاستهلاك يوما بعد يوم .

وتعمل محطات توليد الكهرباء الضخمة في المعتاد بنظام ثلاثي المراحل ، فهناك وحدات أساسية لتوليد الكهرباء تعمل طوال العام تقريبا ، وتقوم هذه الوحدات بمقابلة الاحمال الاساسية المطلوبة من الطاقة الكهربائية في الاوقات العادية وفي غير اوقات الذروة ، على حين نجد أن هناك وحدات أخرى تعمل بصفة خاصة لمقابلة الاحمال الكهربائية الزائدة في اوقات الذروة ، وهى أحمال تمثل نحو ٣٠ - ٤٠ ٪ من الاحمال الاساسية .

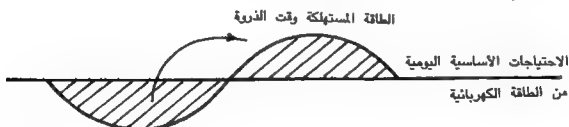
ولاتعمل هذه الوحدات إلا جزءا من الوقت فقط عند الحاجة اليها ، وقد لاتعمل الا عددا محدودا من الساعات لايزيد على ٤٠٠٠ ساعة في العام .

وهناك نوع ثالث من الوحدات يعمل عند الطوارئ فقط لمقابلة بعض الاحتياجات غير المعتادة من الكهرباء ، ولاتعمل هذه الوحدات في المتوسط الا عددا قليلا من الساعات قد لاتزيد على عدة مئات من الساعات في العام .

وهذا النظام ثلاثى المستوى لتوليد الكهرباء ، نظام غير اقتصادى ، لانه يستهلك قدرا كبيرا من الوقود مثل الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعى ، ولذلك فقد اتجه الفكر إلى استخدام الوحدات الاساسية فقط لتوليد الكهرباء اللازمة ، بحيث يمكنها مقابلة الاحتياجات الاساسية المطلوبة من الطاقة الكهربائية ، ويمكنها كذلك أن تغطى الاحتياجات المطلوبة منها في اوقات الذروة .

وقد نجحت التجارب التى اجريت في هذا الشأن ، وتم استنباط طرق جديدة لتخزين الطاقة الزائدة وإعادة استخدامها عند الحاجة اليها .

وتتلخص هذه الوسائل الجديدة في تخزين الطاقة الكهربائية التى تولدها الوحدات الاساسية عند انخفاض استهلاك الكهرباء ، أى في أثناء الليل كل يوم ، وفي نهايات الاسبوع أو في الاجازات ، ليعاد اطلاق هذه الطاقة بعد ذلك عند الاحتياج اليها في اوقات الذروة .



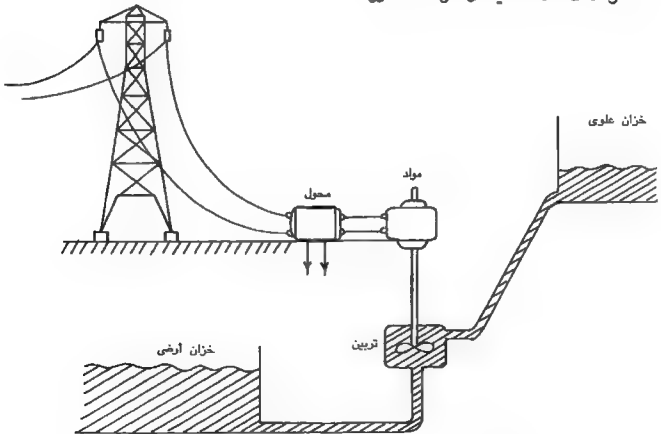
شكل ١٤ - ١ احدى طرق تخزين الطاقة

وقد ابتكرت عدة طرق لتخزين الطاقة الكهربائية أثناء الاحمال المنخفضة واستعمل الماء في بعض هذه الطرق كما استعمل الهواء وبعض أنواع البطاريات في بعض الطرق الاخرى .

## استخدام الماء في تخزين الطاقة الكهربائية

يستخدم الماء في هذه الطريقة في تخزين الطاقة الكهربائية الزائدة ، وهي تعرف باسم « طريقة الضخ الكهرومائية للتخزين » ، « pumped- hydroelectric storage » .

وتتلخص هذه الطريقة في استعمال الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الأساسية لتوليد الكهرباء ، في أثناء انخفاض الاحمال ، في ضخ الماء إلى خزان مرتفع المستوى ، ثم يترك الماء لينساب إلى المنسوب الاصلى مارا في طريقه بتربينات توليد الكهرباء ، عند الحاجة إلى تعزيز الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الأساسية في اوقات الذروة .



شكل ١٤ - ٢ استخدام الماء في تخزين الطاقة الكهربائية

وقد أقيمت إحدى هذه الوحدات في الولايات المتحدة على الشواطئ الشرقية لبحيرة متشجان ، ويرفع الماء في هذه الوحدة من البحيرة الطبيعية إلى البحيرة

الصناعية التى تم حفرها على الشاطئ المرتفع ، وهى تعلو على منسوب المياه فى البحيرة الطبيعية بنحو ثمانين مترا .

ويتم رفع المياه بمجموعة من المضخات القوية التى تعمل بالتيار الكهربائى الفائض عن الحاجة فى غير أوقات الذروة ، أى فى أثناء الليل أو فى فترات نهاية الأسبوع .

وعند ترك الماء ليعود من البحيرة الصناعية إلى البحيرة الطبيعية يندفع بشدة ويدير فى طريقه مجموعة من التربينات تولد طاقة كهربائية ضخمة تصل إلى نحو ٢٠٠٠ ميغاوات ، وهى تعادل الطاقة الكهربائية الناتجة من محطتين حراريتين كبيرتين .

وتستعمل هذه الطاقة الكهربائية الكبيرة لمقابلة الاحمال الزائدة المطلوبة فى أوقات الذروة . وعند تصفية كل ما بالبحيرة الصناعية من مياه ، يمكن توليد نحو ١٥ مليون كيلو وات ساعة .

وقد تبين من هذه التجربة العملية التى تمت على نطاق واسع انه يمكن إستعادة نحو ثلثى الطاقة المستخدمة فى ملء البحيرة الصناعية .

وحتى الآن لاتزيد الطاقة الناتجة من مختلف عمليات تخزين الطاقة فى الولايات المتحدة ، على ٢٪ من مجموع الطاقة الكهربائية المنتجة بها ، الا أنه يقدر أن تزداد هذه النسبة بعد تعميم وسائل تخزين الطاقة فى كل مكان ، وأن يحقق ذلك وفرا فى الطاقة فى الولايات المتحدة يصل إلى ما يكافئ نحو ثلاثة ملايين برميل من البترول فى اليوم عند نهاية هذا القرن ، وقد يزيد الوفرة على ذلك كثيرا بتقدم طرق تخزين الطاقة وزيادة كفاءتها .

ويعترض بعض المهتمين بشئون البيئة على إقامة مثل هذه البحيرات الصناعية ، لكبر حجمها ، ولاثرها الضار على البيئة المحيطة بها وإفسادها للتوازن الطبيعى القائم بين مختلف عناصر هذه البيئة ، ولذلك فقد اتجه الرأى إلى استخدام بعض التجاويف أو الفراغات التى تقع فى باطن الأرض .

وتقوم هذه التجاويف الأرضية مقام الخزان السفلى ، بينما يكون الخزان العلوى على سطح الأرض على هيئة نهر أو بحيرة طبيعية ، وبذلك لاتشغل عملية تخزين الطاقة الا مساحة ضئيلة جدا تستخدم فقط فى إقامة المولدات والمحولات .

ويمكن فى هذه الحالة إنتاج قدر كبير من الطاقة الكهربائية تبعا لعمق الخزان الأرضى وسعته .

## استخدام الهواء في تخزين الطاقة الكهربائية

هناك طريقة أخرى لتخزين الطاقة شديدة الشبه بالطريقة السابقة ، إلا أنها تستخدم الهواء بدلا من الماء .

وتعتبر هذه الطريقة أكثر صلاحية من طريقة ضخ الماء ، وذلك لأنه يمكن تخزين الهواء المضغوط في باطن الأرض سواء في الفراغات الصخرية أو في الفراغات الملحية الموجودة بباطن الأرض دون أن نخشى ذوبان الملح .

كذلك لا يحتاج الأمر عند استخدام الهواء ، إلى وجود خزان فوق سطح الأرض كما في حالة استعمال الماء ، بل يطلق الهواء الصاعد من الأرض إلى الجو مباشرة بعد أن يمر في التربينات .

وأحد عيوب استخدام الهواء في تخزين الطاقة ، إن الهواء يسخن عند ضغطه بشكل واضح ، ولذلك يجب تبريده قبل تخزينه في باطن الأرض ، حتى نتجنب احتمالات حدوث بعض التشققات في جدران الخزانات الأرضية .

كذلك يحتاج الأمر إلى تسخين الهواء المضغوط قبل إمراره في التربينات مما يحتاج إلى استعمال قدر صغير من الوقود في عملية التسخين .

وقد أقيمت إحدى هذه الوحدات التي تستعمل للهواء المضغوط في تخزين الطاقة في « هنتورف » « Huntorf » بجوار مدينة « بريمن » في ألمانيا الغربية ونجحت في عملها نجاحا تاما .

وقد استعمل في هذه الوحدة التيار الكهربائي الفائض عن الحاجة من محطات توليد الكهرباء المجاورة لها ، وهو التيار المنتج في غير أوقات الذروة ، استخدم هذا التيار في ضغط الهواء إلى نحو ١٠٠٠ رطل على البوصة المربعة .

ويتم تخزين هذا الهواء المضغوط في مكننين ملحنيين في باطن الأرض ، تبلغ سعتهما معا نحو ٢٠٠,٠٠٠ من الامتار المكعبة .

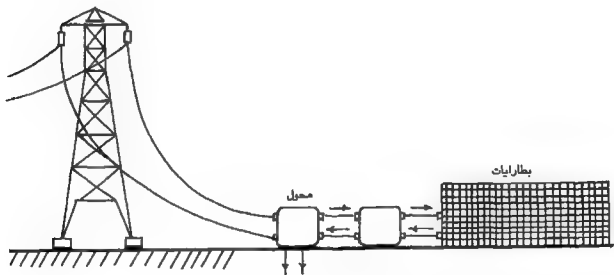
وتقوم هذه الوحدة بإطلاق هذا الهواء المضغوط في أوقات الذروة ، لتدير به التربينات التي تولد الكهرباء ، بعد تسخينه بقدر قليل من الغاز الطبيعي ، وتبلغ الطاقة الكهربائية المولدة بهذه الطريقة نحو ٢٩٠,٠٠٠ كيلووات لمدة ساعتين .

وتجرى حاليا بعض البحوث لتحسين أداء مثل هذه الوحدات التي تستخدم الهواء المضغوط ، وتجرى حاليا دراسات لتسخين الهواء قبل إمراره في التربينات ببعض أنواع الوقود الصناعية المحضرة من الفحم .

وهناك اقتراحات باستخدام أحواض خاصة مليئة بكرات صغيرة من الخزف أو الحديد ، ويمرر فيها الهواء المضغوط قبل تخزينه في باطن الأرض ، فتمتص هذه الكرات حرارة الهواء وتحتفظ بها فيما بينها ، وعندما يمر بها الهواء البارد الصاعد من باطن الأرض ، يمتص منها هذه الحرارة فيسخن ويتمدد قبل إمراره في التربينات .

## تخزين الكهرباء بواسطة البطاريات

استخدمت البطاريات في عمليات تخزين الطاقة الكهربائية منذ زمن بعيد ، ولكن ذلك يستلزم تحويل تيار الشبكة الكهربائية ، في غير أوقات الذروة ، من تيار متردد عالي الجهد ، إلى تيار مستمر ذي جهد منخفض ، ثم تعكس هذه العملية ، في أوقات الذروة ، بتحويل التيار المستمر الناتج من البطاريات إلى تيار متردد يتم إدخاله بعد ذلك إلى الشبكة الكهربائية العامة .



شكل ١٤ - ٣ تخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات

وتعتبر هذه الطريقة من أفضل طرق تخزين الطاقة الكهربائية ، وذلك لان الداخل فيها والخارج منها تيار كهربائى ، ولهذا السبب فان هذه الطريقة تستجيب سريعا لآى تغير في الاحمال .

ويتميز نظام تخزين الطاقة بالبطاريات ، بأنه نظام اقتصادى ، فيمكن إقامة هذا النظام في أى مكان ، فهو لا يحتاج إلى بحيرات صناعية ولا إلى مكان تحت الأرض ، كما يمكن تجميع عدد كبير من البطاريات صغيرة الحجم معا .

ومن المقرر أن وحدة لتخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات ، تبلغ قدرتها نحو ٢٠,٠٠٠ كيلووات ، وسعتها من ١٠٠,٠٠٠ إلى ٢٠٠,٠٠٠ كيلووات ساعة ، لن تشغل مساحة أكبر من نصف فدان .

ونظرا لما لهذه الطريقة من مميزات ، فقد اتجه كثير من البحوث نحو إيجاد أنواع جديدة من البطاريات تتصف بكفاءتها العالية ، وبخص ثمنها وطول مدة خدمتها .

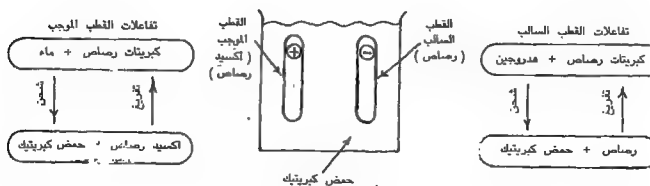
## مركم الرصاص

أبسط أنواع البطاريات هي تلك البطارية التي يستعمل فيها أقطاب من فلز الرصاص ، وتعرف باسم مركم الرصاص .

وتتكون هذه البطارية من عدة ألواح متبادلة من الاقطاب ، فتصنع الاقطاب السالبة من الرصاص ، بينما تصنع الاقطاب الموجبة من الرصاص المغطى بطبقة من اكسيد الرصاص ، وتغمر هذه الاقطاب المتبادلة في حمض كبريتيك ذو تركيز معين .

وعند إستعمال البطارية يتحول الرصاص إلى كبريتات رصاص ، وعند إعادة شحن البطارية يتحول القطب السالب مرة أخرى إلى فلز الرصاص ، ويتحول القطب الموجب إلى اكسيد رصاص .

ولاتعيش هذه البطارية طويلا ، لحدوث بعض التغيرات الطبيعية في الألواح أثناء الاستعمال ، فتتغير خواصها البلورية ، كما تتغير مساميتها بطول الاستعمال ، ولهذا فإن هذه البطاريات لاتتحمل أكثر من الفى تحول من هذه التحولات ، ما بين شحن وتفرغ . وتستعمل هذه البطاريات السائلة في محركات السيارات .



شكل ١٤ - ٤ مركم الرصاص

## بطارية الكبريت والصوديوم

تناولت البحوث الخاصة بتخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات عدة محاولات لاستنباط أنواع جديدة من البطاريات التي تتميز بقدرتها العالية على التخزين .

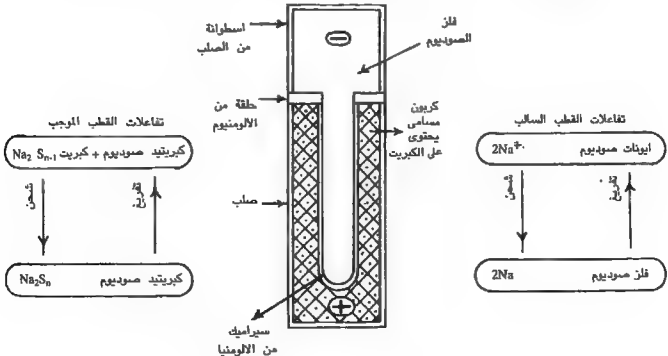
وقد توصلت هذه البحوث إلى صنع أنواع مستحدثة من البطاريات تتكون أقطابها السالبة من بعض الفلزات الأخرى ، مثل الزنك أو الصوديوم ، وتتكون أقطابها الموجبة من الكلور أو الكبريت .

وتعتبر بطارية الصوديوم والكبريت مثالا لهذه البطاريات ، فهي قليلة التكاليف ولها قدرة عالية على التخزين .

وفي حالة مركب الرصاص ، تصنع أقطابها من مواد صلبة مثل الرصاص وأكسيد الرصاص ، ويفصلها الكتروليت سائل وهو حمض الكبريتيك ، ولذلك تعرف هذه البطارية باسم البطارية السائلة .

أما في حالة بطارية الصوديوم والكبريت ، فإن الحال يكون مختلفا ، فتكون أقطابها السالبة والموجبة ، وهى الصوديوم والكبريت في حالة سائلة ، بينما يكون الالكتروليت الفاصل بينهما مادة صلبة مصنوعة من نوع خاص من السيراميك .

ويوضع فلز الصوديوم في هذه البطارية في غلاف من الصلب لجمع التيار ، وهو يمثل القطب السالب ، بينما يوضع الكبريت الذى يمثل القطب الموجب في هذه البطارية ، في غلاف آخر من الصلب ، ويتم فصل القطب السالب عن القطب



شكل ١٤ - بطارية الصوديوم والكبريت



الموجب بخلقة عازلة من فلز الالومنيوم المسمى « ألفا - ألومنيوم » Alpha « Aluminium ، بينما يكون الالكتروليت الواقع بينهما على هيئة انبوبة من السيراميك المصنوع من « بيتا - ألومنيوم » Beta Aluminium ، يوجد الصوديوم بداخلها ويوجد الكبريت خارجها .

وعادة مايخلط الكبريت في هذه البطارية بعنصر الكربون المسامي حتى يكون جيد التوصيل للكهرباء .

وتستخدم هذه البطارية عند درجات الحرارة المرتفعة التى تقع بين ٣٠٠ - ٣٥٠ م° ، وعند هذه الدرجة يكون كل من الكبريت والصوديوم على هيئة سائل ( مصهور ) ، كما يكون التوصيل الايوني لمادة السيراميك المصنوعة من الالومنيا ، مماثلا لتوصيل الالكتروليت السائل في درجات الحرارة العادية ، ولايسمح هذا السيراميك الا بمرور ايونات الصوديوم الموجبة فقط .

وقد تم تشغيل بعض بطاريات الصوديوم والكبريت اكثر من الف دورة من دورات الشحن والتفريغ دون أن تتأثر أو تفسد .

وهناك أنواع أخرى من هذه البطاريات المستحدثة ، مثل بطاريات الليثيوم - الحديد ، وبطاريات الحديد - اكسيد النيكل - وبطاريات الزنك - اكسيد النيكل ، وبطاريات الزنك - الكلور .

وأهم ماتميز به هذه البطاريات قدرتها على العمل لفترة طويلة ، قد تصل إلى نحو ٢٠٠٠ دورة من دورات الشحن والتفريغ ، أى أنها قد تعمل لمدة تتراوح بين ١٠ - ١٥ سنة .

## تخزين الطاقة في قطاع النقل

تقع الزيادة في استهلاك الطاقة في قطاع النقل في بعض أنواع الوقود مثل مشتقات البترول من الجازولين والسولار .

وتستهلك وسائل النقل المستخدمة اليوم من سيارات خاصة وشاحنات وطائرات وقطارات قدرا هائلا من هذه المشتقات على المستوى الدولى وتبلغ كمية هذه المشتقات التى تستهلك يوميا في الولايات المتحدة وحدها نحو ٩ ملايين برميل ، وهى كمية ضخمة تقترب من نصف الاستهلاك اليومى للبترول في الولايات المتحدة . وتنطبق هذه الحالة على كثير من الدول الاخرى .

ولايمكن تخزين الطاقة في قطاع النقل بطريقة مباشرة ، ولكن يمكن تحقيق

وفركبير في الطاقة اذا أمكن تشغيل السيارات وغيرها من وسائل النقل بالبطاريات الكهربائية التي يتم شحنها من الطاقة الكهربائية الزائدة في غير أوقات الذروة .

ويمكن تصور صعوبة استبدال الجازولين بالبطاريات إذا قارنا بين كمية الطاقة الناتجة من إحراق الجازولين ، وبين الطاقة الناتجة من البطارية الكهربائية .

فإذا فرضنا أن خزان الوقود في السيارة يسع نحو ١٠٠ لتر من الجازولين ، فإن هذا القدر من الوقود على هيئة الجازولين سيعطى عند إحراقه قدرا من الطاقة يساوي ثلاثة ملايين وحدة حرارية بريطانية ، وهي كمية من الطاقة تكفي لتشغيل سيارة كبيرة لمسافة تزيد على ٥٠٠ كيلو متر .

أما إذا استخدمنا بطارية كهربائية أقطابها من الرصاص ، وهي البطارية السائلة العادية ( مركم الرصاص ) ، ويبلغ حجمها ١٠٠ لتر ، وهو نفس حجم الجازولين المستخدم في المثال السابق ، فإن هذه البطارية لن تعطى لنا أكثر من ٦ كيلو وات ساعة ، أي نحو ٢٠,٥٠٠ وحدة حرارية بريطانية فقط ، أي جزء من ١٥٠ جزءا من الطاقة الناتجة من الجازولين .

وعلى الرغم من أن كفاءة تشغيل المحرك بالجازولين لا تزيد على ٣٠٪ بينما تبلغ كفاءة التشغيل بالبطاريات نحو ٧٥٪ من طاقتها ، إلا أن هذا لا يغير كثيرا من النتيجة السابقة ، ويبدو لنا على الفور مقدار التفاوت بين قدرة الجازولين وقدرة البطارية الكهربائية .

ويوضح لنا هذا المثال ، أنه لتشغيل سيارة متوسطة الحجم مسافة مناسبة ، فإنه يلزم استخدام بطاريات كهربائية أكبر من ذلك بكثير .

ويمثل كبر حجم البطارية الكهربائية عقبة رئيسية في هذا المجال ، كما أن ارتفاع تكلفة هذه البطارية يمثل عقبة أخرى أمام صانعي السيارات ، فاستخدام بطارية كهربائية بحجم مناسب لتشغيل محرك سيارة متوسطة لمسافة خمسين كيلو مترا يرفع تكلفة هذه السيارة بنحو ألف دولار .

وهناك عقبة أخرى يجب تخطيها قبل استخدام البطاريات الكهربائية في تشغيل وسائل النقل ، وهي مدى التشغيل القصير للبطارية قبل أن تفرغ شحنتها ، ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بإنشاء محطات شحن على مسافات متقاربة في الطرق العامة ، أو محطات أخرى يتم فيها استبدال البطارية الفارغة بأخرى مشحونة ، إلى غير ذلك من الأفكار .

وبالرغم من كل هذه الصعوبات ، فما زال هناك كثير من البحوث التى تجرى فى هذا المجال لاحلال البطارية الكهربائية محل آلة الاحتراق الداخلى فى السيارات ، خاصة وأن المحركات التى تدور بالكهرباء ستكون محركات نظيفة لا ينتج منها عوادم تلوث الهواء .

## تخزين الطاقة فى القطاع الصناعى وفى المدن .

يمكن الاستفادة كثيرا من عمليات تخزين الطاقة وتوفيرها فى كل من القطاع الصناعى وفى الاسواق التجارية والمباني السكنية .

ويمكن تخزين الحرارة باستعمال الماء فى الاماكن التى تحتاج اليها مباشرة ، وذلك بواسطة استعمال سخانات للمياه تعمل بطريقة اوتوماتيكية بالتيار الكهربائى الفائض فى غير أوقات الذروة ، وتنقطع عن العمل فى أوقات الذروة .

وقد استخدم هذا المبدأ فى بعض الدول الاوروبية ، فنجد أن المانيا الغربية قد استطاعت أن تطور عمليات تخزين الحرارة وتمكنت بذلك من توفير ٢٥٪ من الطاقة المطلوبة للتدفئة والتسخين فى الشتاء .

وتتنوع طرق تخزين الحرارة ، فقد يتم ذلك بتخزين الماء الساخن فى صهاريج خاصة أو خزانات ثم يعاد استخدامه عند اللزوم ، أو بوضع شبكة من الانابيب تحت الارضيات أو تحت جدران الغرف ، أو على هيئة عمليات تدفئة مركزية فى المباني الكبيرة .

وعادة ما تستهلك عمليات تكييف الهواء اكبر قدر من الطاقة الكهربائية خاصة فى الدول الباردة شتاء وفى الدول الحارة صيفا ، ويمكن تحقيق وفركبير فى الطاقة فى هذا المجال بتشغيل نظام لتخزين الطاقة ، فى الشتاء يتم تخزين الحرارة بتسخين الماء ، وفى الصيف ، يعمل نظام التبريد ليلا فى غير أوقات الذروة لتبريد حجم كبير من الماء ، أو لصنع مقدار من الثلج ، ثم يستعمل هذا الماء البارد أو الثلج فى تبريد المنزل وتكييف هوائه فى اثناء النهار ، دون الحاجة إلى استعمال التيار الكهربائى نهارا فى أوقات الذروة .

وقد تبين من بعض البحوث والتجارب التى أجريت بهذا الخصوص فى الولايات المتحدة أن مثل هذه الانظمة المتعلقة بتخزين الحرارة وعمليات التكييف ، قد استطاعت أن توفر نحو ٧٥٪ من الطاقة المطلوبة ، والتى كانت تسحب عادة من الشبكة الكهربائية فى أوقات الذروة .

اما في قطاع الصناعة، فيصعب تقدير الفائدة التي تعود تماما من عمليات تخزين الطاقة ، ومع ذلك فقد كانت هناك بعض الافكار الجريئة التي قدمت في هذا المضمار .

ومن أمثلة هذه الافكار ، أنه قد يمكن الاستفادة من درجات الحرارة العالية التي تتطلبها بعض العمليات الصناعية ، مثل عمليات صهر الصلب وتصنيع الالومنيوم أو الزجاج ، بتخزين الحرارة الناتجة منها بواسطة طرق للعزل أكثر كفاءة ، أو بعكس الاشعاعات تحت الحمراء الكامنة في المادة المصنعة ، وإعادة استخدام هذه الحرارة لتسخين بعض المواد الاخرى ، أو لتسخين تشغيلة أخرى في نفس خط الانتاج .

ولاشك أننا لو تمكنا من تخزين مثل هذه الطاقة الحرارية في وسط يمكن إعادة استخدامه ، بدلا من ترك هذه الحرارة لتتبدد في الهواء ، فإن ذلك سيؤدي إلى خفض استهلاك الوقود في كثير من القطاعات الصناعية .

وهناك طريقة أخرى يمكن الاستفادة منها في تخزين الطاقة ، وهي طريقة تعرف باسم « التوليد المشترك » ، « Cogeneration » ، وهي طريقة تتضمن استخدام قدر واحد من الطاقة في غرضين في نفس الوقت ، مثل استخدام الحرارة الناتجة من حرق الوقود في أحد الأفران لتسخين إحدى العمليات الصناعية ، ولتوليد الكهرباء في نفس الوقت من الغازات الساخنة الناتجة ، ومازالت مثل هذه الطرق تحت البحث اليوم .

وعندما ينجح الانسان في إحلال الطاقة الشمسية محل بعض مصادر الطاقة غير المتجددة مثل الفحم والبتروول والغاز الطبيعي ، فإن الحاجة إلى عمليات تخزين الطاقة ستصبح أكثر إلحاحا منها اليوم ، وذلك للتنسيق بين مصدر متقطع للطاقة وارد من الشمس ، لأن الشمس تسطع نهارا فقط وتغيب ليلا ، كما أنها لايسطع نورها كل يوم في كثير من البلدان ، وبين مطلب مستمر لهذه الطاقة ليلا ونهارا ، كما أن عمليات تخزين الطاقة ستساعد كثيرا على تركيز الطاقة التي سبق تجميعها ، وبذلك تصبح هذه الطاقة أكثر صلاحية للاستخدام في كثير من الأغراض .

وقد أقيم بالملكة العربية السعودية نظام لاستغلال الطاقة الشمسية يعتمد على الخلايا الضوئية ، واستخدمت البطاريات السائلة ( مركب الرصاص.) في تخزين الطاقة الكهربائية الناتجة من هذا النظام ، وتعطى هذه العملية نحو ٣٥٠ كيلو وات من الكهرباء تكفي لانارة قريتين .

ويعتبر الماء من أفضل الاوساط لتخزين طاقة الشمس ، ويمكن تسخين هذا الماء نهارا ثم استعماله ليلا في تدفئة المباني والمنازل .

وقد أمكن كذلك استخدام الهواء وسطا لتخزين الطاقة الشمسية وتم نقل حرارة الشمس بواسطة الهواء الساخن إلى بعض الصخور في باطن الأرض ، وإستخدامها خزاناً للطاقة يمكن إعادة استخدامه ، وغالبا ما تكون هذه الخزانات الصخرية تحت المبنى المراد تدفئته أو في مكان مجاور له .

كذلك يمكن استخدام مواد بناء جديدة تستطيع أن تحتزن طاقة الشمس الحرارية في أثناء النهار ، أو تحتزن برودة الجوليليا ، ويعاد استخدام هذه الطاقة بعد ذلك ، ولاشك أن كل هذه الافكار عند تطبيقها بنجاح ستؤدى إلى خفض تكاليف عمليات التكييف في المدن ، وستقلل من اعتمادنا إلى حد ما على مصادر الطاقة التقليدية .

وهناك أفكار طموحة تتعلق بتخزين الطاقة على مستوى كبير ، فقد فكر بعض العلماء في تخزين طاقة الشمس في الصيف لاستخدامها في اثناء فصل الشتاء في مقاطعة بأسرها ، وهم يؤمنون أن الماء هو أنسب وسط لاجراء هذه العملية ، ويعتقدون أنه سيتمكن في المستقبل القريب ، اختزان حرارة الشمس ، وكذلك الحرارة الناتجة من بعض الصناعات ، في بحيرات خاصة محدودة الحجم أو في باطن الارض .

وهناك عقبة رئيسية أمام تنفيذ مثل هذه المقترحات ، فإن عملية نقل هذا الماء الساخن من البحيرات أو من الخزانات الارضية الى المستهلكين في منازلهم ستكون باهظة التكاليف .

ومع كل ذلك فإن بحث موضوع البحيرات التي يمكن رفع درجة حرارتها وعزلها لاستعمالها في هذا الغرض يجرى حاليا في ألمانيا ، كما أن فكرة استخدام المخازن الارضية لتخزين الماء البارد أو الساخن تبحث حاليا في الولايات المتحدة .



## أثر إنتاج الطاقة على البيئة

اعتماد الناس قياس التقدم التكنولوجى للأمم بقياس ذلك القدر من الطاقة الذى يستهلكه كل فرد من أفراد هذه الأمم ، فكلما زاد ذلك القدر دل ذلك على تقدم الدولة ورفعة شأنها .

وعندما نأخذ فى الاعتبار التلوث الذى ينشأ عن حرق الوقود عند إنتاج الطاقة ، نجد أن الزيادة فى استهلاك الطاقة فى دولة من الدول تعد فى الحقيقة دليلاً على زيادة مساهمة هذه الدولة فى تلوث البيئة والاضرار بها وبما يعيش فيها من كائنات .

### التلوث الناتج عن استخدام أنواع الوقود التقليدية

أدى التقدم الصناعى والتكنولوجى للانسان إلى استخدام كميات هائلة من أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم والبتروى والغاز الطبيعى .

وعند حرق هذه الأنواع من الوقود لانتاج الطاقة فى المصانع وفى محطات القوى تنتج منها عدة غازات أهمها ثانى أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكبريت وبعض أكاسيد النيتروجين .

وعلى الرغم من أن غاز ثانى أكسيد الكربون هو أحد المكونات الطبيعية للهواء ، إلا أنه لوحظ فى الأعوام الاخيرة أن نسبته فى الهواء قد إزدادت نتيجة للاسراف فى حرق الوقود ، وتبلغ كمية هذا الغاز التى تتصاعد فى أجواء دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة عدة ملايين من الاطنان ، وتتضاعف هذه الكمية تقريباً كل عشر سنوات .

ويقوم غاز ثانى أكسيد الكربون بعمل يشبه عمل الصوبه الزجاجية تماماً ، فهو يحجز حرارة الأرض ويمنعها من الانتشار فى الفضاء .

ويعنى ذلك أن ارتفاع نسبة هذا الغاز فى الهواء ستؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض عن معدلها ، وقد يؤدى ذلك على المدى الطويل إلى انصهار

جزء من الجليد الذي يغطي قطبي الكرة الأرضية وارتفاع مستوى مياه البحار والمحيطات واغراق كثير من حواف القارات بما عليها من مدن ومنشآت .

أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فهو ينتج من أنواع الوقود التي تحتوي على قدر من عنصر الكبريت أو بعض مركبات الكبريت العضوية .

وغاز ثاني أكسيد الكبريت غاز حمضي سهل الذوبان في الماء ، ويتحد هذا الغاز تحت بعض الظروف الخاصة مع اكسجين الهواء معطيا غاز ثالث أكسيد الكبريت الذي يذوب في الماء مكونا حمضا قويا يعرف باسم حمض الكبريتيك ، ينتشر في الجو على هيئة رذاذ دقيق يشبه الايروسول ، ثم يتساقط بعد ذلك على هيئة أمطار حمضية تزيد من حموضة التربة وحموضة المجارى المائية مثل الانهار والبحيرات وتضر كثيرا بما فيها من كائنات حية .

كذلك تتسبب هذه الأمطار الحمضية في تآكل أحجار المباني والتماثيل وتؤدي الى سرعة صدأ المعادن ، وإلى الإضرار كثيرا بصحة سكان المدن الذين يتعرضون لهذا النوع من التلوث .

وتنتج كذلك بعض اكاسيد النتروجين عند إحراق الفحم أو المازوت في محطات القوى وفي غيرها من المنشآت الصناعية وكذلك عند إحراق بعض مقطرات البترول في محركات السيارات وفي محركات الطائرات النفاثة .

وتمثل أكاسيد النتروجين خطرا كبيرا على طبقة الاوزون التي توجد في الغلاف الجوى وتحيط بالأرض وتمتص قدرا كبيرا من الاشعة فوق البنفسجية الواردة من الشمس .

وعندما تصل اكاسيد النتروجين إلى طبقة الاوزون التي تمثل درعا واقية تحيط بالأرض ، فانها تتفاعل مع الاوزون وتحوله إلى اكسجين عادى وبذلك تؤدي إلى زيادة نفاذ الاشعة فوق البنفسجية في الغلاف الجوى ، وهذه الاشعة تتسبب في إتلاف خلايا الكائنات الحية وقد يؤدي ذلك ، عند زيادة نسبة أكاسيد النتروجين في الهواء ، إلى حدوث ما يسمى بالدمار البيولوجى والقضاء على كل أنواع الكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض .

وتحتوى الغازات التي تتصاعد إلى الهواء عند حرق الوقود على كثير من الأبخرة والشوائب ، فقد تحتوى هذه الأبخرة على بعض مركبات الزرنيخ والفسفور والسليسيوم والزنك والرصاص والكاديوم ، وتعلق هذه الأبخرة بالهواء على هيئة ايروسول ، وهى مواد تسبب أضرارا شديدة للكائنات الحية بأنواعها .

ويؤدي حرق الوقود في محركات السيارات الى حدوث تلوث شديد للهواء المدن



وإلى حدوث تلك الظاهرة المعروفة باسم « الضباب الدخاني » ، وهى ظاهرة يمتزج فيها الضباب ببعض نواتج الاحتراق غير الكامل لوقود السيارات ، وتختلط بها أكاسيد النتروجين وثنائى أكسيد الكبريت .

ويتكون من هذا الخليط ضباب دخاني كثيف يغلف المدن فى بعض الاحيان كما فى لندن ومدينة المكسيك ولوس انجلوس وغيرها ، وهو يسبب أضراراً شديدة لسكان هذه المدن ويتسبب أحيانا فى حدوث كثير من الوفيات .

وعندما يكون الوقود المستخدم فى محركات السيارات من النوع المضاف اليه رابع اثيل الرصاص ، فإن هذا الضباب الدخاني يصبح محملا ببعض الرصاص وتزداد خطورته كثيرا على صحة سكان المدن .

ونظرا لانتشار استعمال السيارة فى كل مكان ، وانتشار المنشآت الصناعية وامتدادها إلى كثير من المناطق ، فإن هذا التلوث قد امتد إلى كثير من المناطق الريفية المحيطة بهذه المواقع ، وبذلك أصبح هذا النوع من التلوث له صفة العموم .

وهناك نوع آخر من التلوث يحدث عند استخراج بعض أنواع هذا الوقود من باطن الأرض ، أو عند نقله من أماكن استخراجه إلى الأسواق .

ومثال ذلك ، تلوث البيئة المحيطة بمناجم الفحم ، ففى كثير من الاحيان تتسرب بعض المياه الجوفية الى هذه المناجم ، ويتطلب الامر التخلص منها بضخها إلى سطح الأرض .

وهذه المياه تكون حمضية التأثير وملوثة بتراب الفحم ، وبذلك فهى تقسد التربة المحيطة بالمناجم وتسبب تلوث المجارى المائية المحيطة بها .

وعندما يستخرج الفحم بطريقة التعدين السطحى ، ينتج عن ذلك إزالة الطبقة السطحية للتربة وتتحول المنطقة كلها إلى مجموعة من الحفر العميقة والتلال ، وتصبح غير صالحة للزراعة أو للسكنى أو غيرها .

كذلك تتلوث مياه البحار عند نقل الزيت الخام بواسطة الناقلات البحرية ، فأغلب هذه الناقلات تلقى ما فيها من نفايات ومخلفات بترولية أثناء سيرها فى البحار .

وتتشترك الحوادث البحرية التى قد تحدث لبعض هذه الناقلات فى عمليات تلوث المياه ، ورغم أن التلوث الناتج فى هذه الحالة يكون عادة مركزا فى منطقة بعينها إلا أنه بعد فترة من الزمن تنتشر بقعة الزيت فى ماء البحر فى مساحة أكبر

وينتشر ضررها في المناطق المحيطة بالحادث ، وتنقل آثار هذا التلوث إلى الشواطئ القريبة عن طريق المواد المتطايرة التي يحملها الهواء وعن طريق بعض البقايا الاسفلتية ، التي تختلط بالرمال وتظهر على الشواطئ على هيئة كرات صغيرة سوداء تعرف باسم «كرات القار» « Tar Balls » .

ولا يقتصر التلوث الحادث لمياه البحار على الحوادث البحرية فقط ، فهذه الحوادث لا تمثل الا نحو ١٠٪ على الاكثر من زيت البترول الذي تتلوث به مياه البحار ، بينما تأتي بقية هذا الزيت من بعض الاخطاء او الحوادث الطارئة في أثناء عمليات الاستكشاف أو أثناء إستخراج البترول من الآبار البحرية أو من تدفق الزيت خطأ من بعض خطوط الانابيب التي تحمل البترول الى شواطئ البحار أو من مياه التوازن التي تستعملها الناقلات الفارغة ، والتي تعيد القاها إلى مياه البحر حاملة معها قدرا من زيت البترول المتبقى في الناقله والذي يصل في كثير من الاحيان إلى ١٪ من حمولة الناقله .

كذلك تعتبر عمليه فصل الماء الملح عن زيت البترول من أهم العمليات التي تؤدي إلى تلوث مياه البحار ، ولا يتم هذا الفصل بصورة تامة في أغلب الاحوال ، بل يتبقى جزء من الزيت عالقا بالماء الملح الذي يلقي بعد ذلك في البحار أو في الانهار .

ويمكننا تصور الكميات الهائلة من هذا الماء الملح الملوث بزيت البترول الذي يلقي في البحار كل يوم ، إذا علمنا أن كل برميل من زيت البترول ، تصاحبه عدة براميل من الماء الملح .

## الطاقة النووية والبيئة

قوبل استخدام الطاقة النووية في توليد الكهرباء بمعارضة شديدة من كثير من الجماعات في بلدان العالم ، وانقسم الناس ما بين مؤيدين ومعارضين لهذا الاستخدام السلمي للطاقة النووية .

ويرى المعارضون لاقامة المفاعلات النووية أو المحطات النووية أن هناك بعض الاحتمالات في حدوث خلل في بعض اجزائها ، مما قد يؤدي إلى تسرب الاشعاعات النووية من هذه المحطات وانتشارها في المناطق المحيطة بها .

ويستند أصحاب هذا الرأي إلى بعض الاحداث التي وقعت لبعض المفاعلات النووية ، وأدت إلى تسرب الاشعاعات ، مثل ذلك الخلل الذي أصاب مفاعل « ثري مايلز ايلاند » بالولايات المتحدة ، أو ذلك الحادث الخطير الذي وقع في المفاعل

النوى فى تشرنوبيل بالاتحاد السوفيتى ، والذى نتج عنه انتشار الاشعاعات النووية فوق اوروبا وبعض بلاد اسيا والشرق الأوسط .

وقد أحدث هذا الحادث الاخير ذعرا شديدا بين الناس فى كل مكان ، وتسبب فى قتل بعض من تعرضوا مباشرة للاشعاع الناتج منه .

وقد قدر أحد العلماء أن عدة ملايين من الافراد فى الاتحاد السوفيتى وفى بعض مناطق وسط اوروبا سيتأثرون بنتائج هذا الحادث على المدى الطويل .

وقد تم التخلص من كثير من المواد الغذائية التى أصابها الاشعاع مثل الالبان ومنتجاتها ، وبعض الخضروات ، والقمح والدقيق وبعض انواع الفاكهة والثمار الجافة ، مثل البندق واللوز الواردة من تركيا ومن بعض دول وسط أوروبا .

ويعتبر حادث تشرنوبيل من أخطر حوادث المفاعلات النووية حتى الان .

ويجانب هذه الاخطار الناتجة من حدوث خلل طارئ فى المفاعلات النووية ، فهناك بعض المشاكل الاخرى التى تصاحب إقامة المحطات النووية المستخدمة فى توليد الكهرباء ، مثل مشكلة التلوث الحرارى ، ومشكلة التخلص من النفايات والمخلفات النووية الناتجة منها ، واثركل ذلك على البيئة المحيطة بهذه المحطات .

### التلوث الحرارى :

ينشأ التلوث الحرارى نتيجة لاحتياج المحطات النووية الى تبريد مفاعلاتها ، وهى تستخدم لهذا الغرض كميات ضخمة من الماء .

ولهذه الاسباب فان أغلب المحطات النووية لتوليد الكهرباء تقام على شواطئ الانهار أو البحيرات ، أو على شواطئ البحار

وعند إعادة صرف هذا الماء الساخن بعد استخدامه فى تبريد المفاعل إلى المجرى المائى الذى أخذ منه ، يكون هناك فرق واضح فى درجات الحرارة بين كتلة الماء التى استخدمت فى التبريد ، وبين بقية مياه المجرى الاصلى .

وقد يؤدى تكرار هذه العملية يوما بعد يوم ، إلى رفع درجة حرارة المجرى المائى بأكمله ، خاصة إذا كان هذا المجرى المائى بحيرة مقفلة ، أو يؤدى إلى رفع درجة حرارة جزء كبير من المجرى الواقع أمام المحطة النووية ، إذا كانت هذه المحطة مقامة على شاطئ البحر أو على شاطئ أحد الأنهار .

وعلى الرغم من أن هذه العملية قد لاتؤدى إلى رفع درجة حرارة الماء

إلا بشكل طفيف ، لايزيد على درجتين أو ثلاث درجات مئوية ، إلا أن هذا الارتفاع الطفيف في درجة الحرارة ، كما يبدو لنا ، قد يتسبب في الاخلال بنظام البيئة المتوازن ، ويضر كثيرا بحياة بعض الكائنات الحية التي تعيش في المجرى المائي .

والسبب في ذلك أن كثيرا من هذه الكائنات الحية التي تعيش في الماء لا تستطيع أن تتكيف بسهولة أمام هذه التغيرات الحرارية ، وقد تموت بعض هذه الاحياء ، وقد يهاجر بعضها الآخر بعيدا ، مما يؤثر كثيرا على الثروة الحيوانية والسمكية في هذه المناطق .

ومن المعروف أن المحطة النووية التي تبلغ قدرتها ٥٠٠ ميغا وات تستطيع مياه الصرف الساخنة الناتجة منها أن تسبب تلوثا حراريا لنهر كامل معدل جريان الماء فيه نحو ثلاثين مترا مكعبا في الثانية ، وترفع درجة حرارة مياهه بمقدار عشر درجات مئوية .

ومما يزيد من خطورة هذا التلوث الحرارى ، أن المياه الساخنة التي تصرفها المحطات النووية ، تقل بها نسبة غاز الأكسجين الذائب إلى حد كبير ، وعند اختلاط هذه المياه بمياه المجرى المائي ، فانها تؤدي إلى تقليل كمية الأكسجين الذائب في هذه المياه المحيطة بالمحطة النووية ، مما يؤثر كثيرا على نشاط الكائنات الحية التي تعيش في هذا المجرى المائي .

وهناك كثير من الحلول التي قدمت للتغلب على هذا التلوث الحرارى ، فيمكن مثلا اقامة المحطات النووية على شواطئ البحار واستخدام مياه البحر العميقة في تبريد مفاعلاتها ، وذلك لأن مياه البحر العميقة تكون درجة حرارتها منخفضة كثيرا عن درجة حرارة مياه البحر السطحية ، وبذلك لن ترتفع درجة حرارة هذه المياه كثيرا عن درجة حرارة مياه البحر السطحية ، بعد أن تستخدم في تبريد المفاعل .

ويخدم ذلك غرضا آخر ، فتمثل هذه المياه العميقة تعيش بها كثيرا من الكائنات الحية الدقيقة ، وعند صرفها بعد استخدامها في التبريد ، فانها ستساعد على زيادة كمية المادة الغذائية المتاحة في المياه السطحية للبحر كما أنه يمكن إلقاء هذه المياه في أحواض خاصة تحتوى على الزريعة السمكية التي ستجد غذاء وفيرا في هذه المياه .

## المخلفات النووية

يجب الحرص الشديد عند تناول المخلفات النووية أو نقلها . وعندما ينتهى استعمال الوقود النووى ، تكون هناك نسبة عالية من الذرات القابلة للانشطار فى بقايا الوقود ، وتطلق هذه الذرات المشعة ، بالإضافة إلى غيرها من نواتج الانشطار المشعة ، قدرا كبيرا من الحرارة ، وقدرا كبيرا من الاشعاعات ، ولهذا يجب التخلص من هذه النفايات بعناية كبيرة .

وهناك عدة طرق للتخلص من هذه النفايات والمخلفات النووية ، فهى قد تغمر فى خزانات مملوءة بالماء حتى تفقد جزءا كبيرا من حرارتها وبعض اشعاعاتها ، ثم توضع بعد ذلك فى أوعية خاصة لاتسمح بِنفاذ الاشعاعات منها ، وتدفن بعد ذلك فى باطن الأرض على أعماق كبيرة ويعيدا عن العمران .

وتقوم بعض الدول مثل فرنسا والولايات المتحدة بتغليف هذه النفايات المشعة فى كتل من الزجاج أو من الخزف ، مما يساعد على مقاومة الحرارة المنبعثة من هذه النفايات ويعزلها عن الوسط المحيط بها ، كما يمنع الفعل الكيميائى لمختلف العوامل الخارجية المحيطة بهذه النفايات ، مثل المياه الجوفية أو بعض مكونات التربة الأخرى .

وعادة ما توضع هذه النفايات ، بعد تغليفها بالزجاج أو بالخزف ، فى أوعية من الصلب محكمة الغلق ، ثم تحفظ بعد ذلك فى آبار خاصة ذات جدار سميك ومزدوج ، على عمق كبير تحت سطح الأرض .

ويجب فرض رقابة دائمة على مواقع دفن هذه النفايات النووية ، وذلك لأنها تبقى مصدرا للخطر لمدة طويلة تصل فى بعض الأحيان إلى مئات السنين .

## أثر مصادر الطاقة الأخرى على البيئة

تعتبر مصادر الطاقة الأخرى ، مثل الطاقة الشمسية والطاقة الناتجة من مياه البحار أو من حرق غاز الهيدروجين ، مصادر نظيفة للطاقة ، ولا ينتج منها مواد ملوثة للبيئة أو تسبب ضررا للكائنات الحية .

ومع ذلك فهناك بعض الصعوبات التى تنشأ عند استخدام الطاقة الناتجة من الينابيع الحارة ، وذلك لأن التخلص من الماء الناتج من تبريد بخار الينابيع بعد استخدامه ، يمثل مشكلة كبيرة وقد يسبب بعض الأضرار للبيئة المحيطة بهذه المناطق ، فالماء الناتج يكون ساخنا وقد يسبب بعض التلوث الحرارى عند القائه فى

المجارى المائية ، كذلك قد يحتوى هذا الماء على نسبة عالية من الاملاح المعدنية التى تضر بالتربة ضررا شديدا وتجعلها غير صالحة للزراعة .

كذلك قد يصاحب البخار او الماء الساخن المتصاعد من باطن الأرض عن طريق هذه الينابيع ، بعض الغازات الضارة مثل أكاسيد الكبريت أو غاز كبريتيد الهيدروجين ، وهى غازات حمضية تلوث الهواء وتسبب ضررا شديدا للبيئة المحيطة بهذه الينابيع .

كذلك هناك خطر كبير من احتمال حدوث بعض الانهيارات فى تربة الارض فى بعض المناطق التى توجد بها الينابيع الحارة ، وذلك نتيجة لسحب المياه والبخار من الطبقات المسامية وتكون بعض الفجوات تحت سطح الأرض .

ولاشك أن المستقبل سيكون لمصادر الطاقة النظيفة التى تجمع بين رخص تكلفتها وبين عدم اضرارها بالبيئة المحيطة بها .

## مراجع

- 1 - D.O. Shah and R.S. Schechter, « Improved Oil Recovery By Surfactant and Polymer Flooding », Academic Press, 1977.
- 2 - « Tar Sands and Supergiant Oil Fields », Am. Assoc. Petro. Geol. Bull., 61, 1950 (1977).
- 3 - B. Tissot and D. Welte, « Petroleum Formation and Occurance », Springer Verlag, 1978.
- 4 - E.N. Tiratsoo, « Natural Gas », Scientific Press Ltd., Beaconsfield, England, 1979.
- 5 - M.Valais et al., « L'industrie du Gas Dans Le Monde », Editions Technip., Paris, 1982.
- 6 - R.Vandenbosch and J.R. Huizenga, « Nuclear Fission », Academic Press, 1973.
- 7 - The Fifth Ocean Thermal Energy Conversion Conference, Miami, U.S.A., 20-22 February, 1978, Proceedings Conf., 780236.
- 8 - V.D. Hunt, « The Gasohol Handbook », Industrial Press Inc. 1981
- 9 - Pour La Science, Septembre 1987, France





رقم الإيداع بدار الكتب

---

١٩٨٨ / ٨٣٩٤

مطبخ الأعراس التجارية القاهرة - مصر



يتناول الكتاب واحدا من أهم الموضوعات التى شغلت رأى العام العالمى هذه الأيام ، وهو موضوع الطاقة . فيستعرض مصادرها التقليدية مثل الفحم والبتروى والغاز الطبيعى ، وهى التى تعرف باسم المصادر غير المتجددة للطاقة ، مبينا طرق استخراجها وتنقيتها ونقلها واستعملاتها المختلفة ، ثم يتناول المصادر المتجددة للطاقة مثل الطاقة النووية والطاقة الشمسية ، واستخدام حرارة الأرض وحركة مياه البحار وطاقة الرياح وخلايا الوقود والبيوماس والجازوهول مبينا أحدث الاتجاهات فى هذا المضمار .

ويتضمن الكتاب كذلك فصلا عن طرق تخزين الطاقة وفصلا آخر عن أثر انتاج الطاقة على البيئة .

والمؤلف الأستاذ الدكتور أحمد مدحت إسلام ، رئيس قسم الكيمياء السابق بعلوم الأزهر ، وعضو الأكاديمية المصرية للعلوم ، وخبير الكيمياء بمجمع اللغة العربية ، خبير متمكن فى الموضوع بحكم تخصصه العلمى ، صاحب أسلوب متميز فى العرض والشرح بحكم ممارسته الطويلة فى التعليم والعمل فى مجال اللغة وتطويرها .

## الناشر

مركز الأهرام للترجمة والنشر

مؤسسة الأهرام

التوزيع فى الداخل والخارج : وكالة الأهرام للتوزيع

ش الجلاء - القاهرة